

Momenttivaakojen käyttöönotto ja oppimisympäristön suunnittelu

Lapin ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriohanke

Jani Lehtonen

Teollisuuden ja luonnonvaran osaamisalan opinnäytetyö
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Haluan kiittää Aila Petäjäjärveä ja Jouko Alanivaa, joiden ansiosta opinnäytetyö oli mahdollista tehdä. Kiitoksen ansaitsee myös Lapin AMK, jonka ansiosta sähkövoimalaboratorion sai käyttöön.

Kemissä 20.5.2014

Jani Lehtonen

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU, Sähkötekniikka

Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Jani Lehtonen
Opinnäytetyön nimi:	Momenttivaakojen käyttöönotto ja oppimisympäristön suunnittelu
Sivuja (joista liitesivuja):	53 (8)
Päiväys:	20.5.2014
Opinnäytetyön ohjaaja:	Insinööri Aila Petäjäjärvi
<p>Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimi Lapin AMK. Opinnäytetyönaiheena oli momenttivaakojen käyttöönotto ja viritys opetuskäyttöön. Tavoitteena oli tehdä hankituille laitteille harjoitustyöt, oppimisympäristön suunnittelu ja laitteiden sijoittaminen niille kuuluville paikoille. Opinnäytetyön kirjallinen osuus oli selvittää moottoreiden ja generaattoreiden toimintaa. Myös momentinmittaukseen liittyviä käytäntöjä ja sähkölaboratoriossa työskentelyn turvallisuus oli osa tavoitetta.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosa piti sisällään johdannon, jossa kerrottiin hankituista laitteista ja niiden ominaisuuksista sekä käyttökohteista oppimisympäristössä. Laitteet oli tarkemmin yksilöitynä teoriaosuuteen, missä oli eroteltuna tasavirtakone generaattorina, vaihtovirtakone moottorina ja generaattorina sekä momentinmittausvaat. Opinnäytetyön sähkökoneet olivat jaettu ominaisuuksiltaan, rakenteeltaan ja käyttökohteeltaan omiin kategorioihin. Laboratoriostandardit käsittelivät työturvallisuutta harjoitustoissa, kun tehtiin mittauksia ja kytkentöjä sähköä kanssa.</p> <p>Aineistona opinnäytetyössä oli laitteiden käyttöoppaat, harjoitustyöt englanniksi, laitteiden tekniset tiedot ja vanhat harjoitustyöt. Toteutustapa lähti moottoreiden taustatiedoista ja käyttökohteista johdannon ja teorian kautta. Tämän jälkeen tuli laboratoriostandardien määritelmiä ja yleisiä turvallisuuteen liittyviä ohjeita, joita tuli noudattaa sähkölaboratoriossa työskennellessä tapaturman välttämiseksi. Lisäksi hankittujen moottoreiden ja vaakojen testaus toteutettiin ensimmäiseksi. Tätä seurasi suunnittelu oppimisympäristön toteuttamiseksi eli laitteiden sijainnin määrittäminen sähkölaboratoriossa. Toteutuksessa oli tarkoitus testata moottoreiden käyttöä ja mukaan lukien harjoitustöiden laatiminen ja päivittäminen vastaamaan vanhempia harjoitustyöohjeita.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin uusien sähkökoneiden kuormituslaitteistojen oppimisympäristöt vanhojen laitteiden rinnalle. Uusien laitteistojen oppimistehtävät antavat käytännönläheisen käsityksen sähkökoneiden ominaisuuksista ja momentinmittauksesta. Lisäksi oppimisympäristö auttaa muodostamaan käsitystä moottoreiden ja generaattoreiden ominaisuuksista. Tämä tarkoittaa, että miten tarvittavat arvot tulee mitata, miten tulokset mitatuista arvoista lasketaan ja miten tuloksia sovelletaan. Kirjalliset tulokset pitävät sisällään sähkölaboratorion turvallisuusmääräykset ja uusille moottoreille käytettävät ohjeet.</p> <p>Asiasanat: momenttivaaka, generaattori, moottori, oppimisympäristö, työturvallisuus.</p>	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Electrical engineer

Degree programme:	Electrical engineer
Author:	Jani Lehtonen
Thesis title:	Introduction of the Torque Scale and Planning of the Learning Environment
Pages (of which appendixes):	53 (8)
Date:	20 May 2014
Thesis instructor:	Aila Petäjäjärvi, BSc, (El.eng)
<p>This final year project was commissioned by Lapland University of Applied Sciences. The object was the introduction of the torque scales and the tuning of them to an educational purpose. The target of the work was to make training experiments and create learning environment using English material and also motors which had been acquired earlier. Another target was to explain how motors and generators work and how to measure torque. The safety instructions were also part of the target.</p> <p>This theory part of the project includes an introduction that describes the acquired machines, their qualities and their main use. More accurate information for machines was individualized in theory part where DC - generator, AC – motor, and generator and torque scale can be found. It was also described how the machines differ from each other by physical features and how they should be used. The electrical laboratory standards cover the safety instructions while working in the laboratory.</p> <p>In this project, material documents included manuals, training experiments and technical specifications in English and older training experiments. Implementation was to tell about backgrounds of motors and how to use them via introduction and theory. After this, laboratory standards and instructions for common safety during the work in laboratory were studied; these instructions have to be followed in order to avoid accidents. Also motors and scales that were ordered earlier were meant to be tested. This was followed by planning the learning environments and deciding where the machines should be located in the electrical laboratory. Finally, the testing of the machines and the making of the training experiments updating them to go with the older experiments were carried out in implementation.</p> <p>Results in this final year project were the new learning environments for testing the torque scales with the older machines and the chance to practical experience with these machines and training experiments. The new learning environment gives an idea of how to measure the values given by instrument units and how to apply these to tell how motors and generators work. The written results were safety orders in electrical laboratory and manuals for new motors.</p>	
Keywords: Torque scale, generator, motor, learning environment, safety at work.	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT.....	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 SÄHKÖKONEIDEN TEORIA	10
2.1 Tasasähkökoneet	10
2.1.1 Vierasmagnetoitu tasasähkömoottori	12
2.1.2 Sivuvirtamoottori	13
2.1.3 Sarjamoottori.....	14
2.1.4 Yhdysvirtamoottori	14
2.2 Vaihtosähkökoneet	16
2.2.1 Toiminta moottorina.....	17
2.2.2 Kolmivaiheinen oikosulkumoottori	18
2.2.3 Yksivaiheinen oikosulkumoottori	19
2.2.4 Liukurengasmoottori	20
2.2.5 Tahtikone.....	20
2.2.6 Reluktanssimoottori	21
2.2.7 Toiminta generaattorina	22
2.2.8 Verkkomagnetoitu epätahtigeneraattori	22
2.2.9 Kondensaattorimagnetoitu epätahtigeneraattori.....	23
2.3 Momenttivaa'at	23
3 SÄHKÖLABORATORIOSTANDARDIT	25
4 TYÖTURVALLISUUS	28
5 LAITTEISTON KÄYTTÖNOTTO JA TESTAUS.....	30
5.1 Tahtikone.....	31
5.2 Epätahtikone	31
5.3 Momentinmittausyksikkö	31
5.4 Vaihtosähkön mittalaite.....	32
5.5 Tasasähkön mittalaite	33
5.6 Kuormitusyksiköt	34

6	HARJOITUSTÖIDEN SUUNNITTELU	35
6.1	Harjoitustyöt	35
6.2	Oppimisympäristöjen sijainti	37
6.3	Käyttöohjeet	38
7	TOTEUTUS.....	39
7.1	Moottorit ja generaattorit.....	39
7.2	Mittauslaitteet	42
7.3	Lisävarusteet.....	44
8	HARJOITUSTYÖT	47
9	KEHITYSMAHDOLLISUUDET	48
10	MUUT KONEET JA LAITTEET.....	49
11	POHDINTA	52
12	LÄHDELUETTELO.....	53
13	LIITTEET	54

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

SVT	Sähkövoimatekniikka.
rpm	Revolutions Per Minute, kierrosta minuutissa.
smv	Sähkömotorinen voima.
DAQ	Data Acquisition Package, TERCO:n PC ohjelma momentinmittaukseen.
4Q	4 kvadrantti käyttö eli tasavirtakone jarruttavana – tai generaattoriyksikkönä vaihtosähkökoneen kanssa.
Modbus	Yleisin sarjaliikenne protokolla digitaalisentiedon siirtoon.
USB	Universal Serial Bus, väyläteknikka tietokoneen yhdistäminen mittauslaitteeseen
COM	Component Object Model – portti tietojen siirtämiseen toiselle laitteelle.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön lähtökohtana oli tehdä hankituille tasavirta- ja epätahtimoottoreille, kahdelle digitaaliselle momenttivaa'alle, tasavirtalähteelle, tehoanalysaattorille ja momenttimittausyksikölle oppimisympäristö ja uudet harjoitustyöt. Uudet laitteet oli tarkoitus tuoda vanhojen laitteiden rinnalle ja saada näin momenttimittaukselle ja moottorien käytölle enemmän käytännön harjoituksia. Aikaisempia laitteita, jotka mittaavat momenttia, ovat analoginen momenttimittari, digitaalinen momenttivaaka ja näihin liittyvät koneet.

Uusien laitteiden harjoitukset olivat englanniksi ja poikkesivat vanhoista tehtävistä, joten näiden suomentaminen ja sovittaminen aikaisempiin tehtäviin kuului myös opinnäytetyön kohteeseen. Laitteiden testaus tuli myös tehdä ja tämän pohjalta piti suunnitella laitteiden sijoittaminen siirrettäviin työpisteisiin ilman, että koneita ei tarvitsisi liikutella jokaisen harjoitustyön kohdalla.

Suunnitteluun kuului myös työturvallisuus opinnäytetyössä suunniteltuihin oppimistehdäviin liittyen sähkövoimatekniikan laboratoriossa. Myös suojaukset ja varusteet on tärkeä opastaa, jotta niitä käytetään oikein ja toimivat kuten ne on suunniteltu. Esille piti tuoda yleinen perehdyttäminen sähkövoimatekniikan laboratoriotiloihin ja sääntöihin, mikä on tärkeää ennen harjoitustöiden aloittamista.

SVT-laboratoriotilat oli remontoitu ja uusille laitteille oli tarpeen suunnitella toimiva ja käytännöllinen sijoitusratkaisu. Tämä piti sisällään tilajärjestelyn ja suunnittelun eli miten laitteet on hyvä sijoittaa huomioonottaen ryhmäkoot ja laboratoriotyöt. Huomioon piti ottaa myös se, ettei kulkeminen kyseisessä tilassa esty, vaan kulkeminen pitää olla esteetöntä eikä vaaratilanteita esiinny.

Opinnäytetyön valintaan vaikutti oma kiinnostus sähkökoneita kohtaan, niiden käyttö ja uusien laitteiden käyttöönottoselvityksen tekeminen. Myös harjoitustöiden laatiminen ja niiden testaamisen käytännössä kuulosti mielenkiintoiselta. Valintaan vaikutti myös aikaisemmin tehdyt mittaukset ja testit momenttivaa'an harjoitustöissä, joiden pohjalta oli tietämystä aiheesta jo valmiiksi jonkin verran.

Uudet hankitut laitteet mahdollistivat momentinmittausta hieman uudemmalla tavalla vanhoihin laitteisiin verrattuna: mittauslaitteet käsittelivät mittaustietoja digitaalisesti ja laitteet olivat pienemmät. Tämä mahdollisti niiden uuden sijainnin suunnittelun ja siirte-
lyn joustavammin ilman suurempia muutoksia SVT-laboratoriotiloihin. Uudet laitteet koostuivat moottoreista, mittalaitteista ja lisävarusteista.

Lisävarusteet koostuivat siirrettävästä pöytämallisesta testialustasta MV 1003, jossa on pysyvästi kiinnitetty konealusta MV 1004. Siirrettävän testialustan työtaso on kokoon-
taitettava ja siinä on kiinteä hyllyosa. Neljästä pyörästä kaksi voi lukita, mikä auttaa testialustan paikallaan pysymistä. Konealustaan voi kiinnittää moottorit, generaattorit ja momentinmittausyksikkö omilla erikoispuristimilla.

Kuormitusyksiköt koostuivat yleisestä kuormitusvastuksesta MV 1100, reaktiivisesta kuormitusvastuksesta 1101 ja kapasitiivisesta kuormitusvastuksesta MV 1102. Yleises-
sä kuormitusvastuksessa on kolme säädettävää vastusta, joita voi käyttää jatkuvasti ja vastukset on kytketty vaihto- tai tasajännitteen 3- tai 1- vaiheisiin liittimiin. Kotelona toimii reiällinen metallikaappi, jonka kahvat ja pyörät helpottavat liikuttamista. Reaktii-
vinen ja kapasitiivinen kuormitusvastus ovat kumpikin koteloitu samantyylliseen metal-
likoteloon, jonka päällä etupaneelissa on esitetty lohkokaavio, liitännät, symbolit, su-
lakkeet ja sähköiset tiedot. Kumpaakin voidaan käyttää 3- ja 1- vaiheisissa järjestelmis-
sä ja ovat säädöltään kuusiportainen kapasitiivinen kuorma ja 12- portainen reaktiivinen kuorma.

Testikoneet koostuivat tahtikoneesta MV 1008, oikosulkumoottorista MV 1009, mo-
mentinmittaus yksikkö MV 1054, joka koostuu digitaalisesta kierrosnopeus-, akselite-
ho- ja vääntömomenttimittareista. Teknisiltä ominaisuuksilta momentinmittausyksikkö
koostuu anturiyksiköstä, joka sijoitetaan moottorin ja generaattorin väliin ja yhdistetään
näyttöyksikköön. Näyttöyksikön tietoja voidaan tarkastella ja tallentaa tietokoneella
olevalla ohjelmalla datamoduuli MV 1942:n avulla. Tahtikone MV 1008 toimii 220 V
tasajännitteeseen asti. Etuina ovat ominaisuudet, jotka vastaavat suurempikokoisia ko-
neita. Oikosulkumoottori MV 1009 on 3- vaiheinen moottori ja kiinnitetty 10 mm pak-
suun alumiinilevyyn konealustaan kiinnittämistä varten.

2 SÄHKÖKONEIDEN TEORIA

Pyöriessään sähkökoneet muuntavat liike-energian sähköenergiaksi, joka on generaattorin määritelmä. Sähköenergiasta liike-energiaksi muuntavat sähkökoneet ovat moottorin määritelmä. Sähkökoneet voivat toimia joko vaihtosähköllä tai tasasähköllä riippuen käyttökohteesta.

Momentin määritelmä on voiman suure, joka kohdistuu systeemissä vääntövoimana vipuvarren päähän pyörimisakselista. Testausympäristössä oli käytössä sekä tasasähköllä että vaihtosähköllä toimivia erityyppisiä koneita, joiden avulla momenttia oli mahdollista mitata.

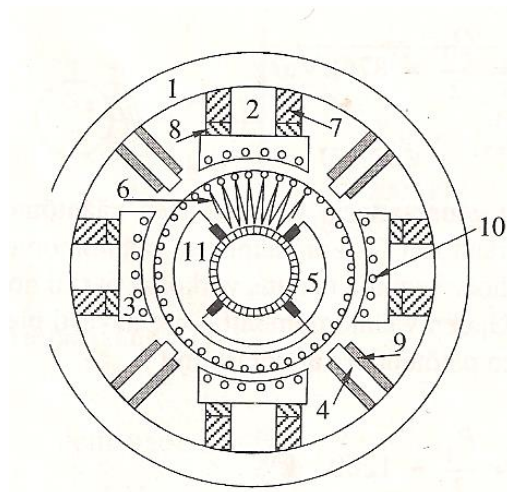
2.1 Tasasähkökoneet

Tasasähkökoneen hyvät puolet ovat suuret moottorin pyörimisnopeuden muuttamismahdollisuudet, mikä voi olla suurikin vaatimus esimerkiksi teollisuuden sovelluksissa. Tehoelektroniikan kehitys on osaltaan vaikuttanut siihen, että tasasähkömoottorin käyttö on lisääntynyt. Tästä esimerkkinä on tasasuuntaaja, jonka avulla vaihtosähkön voi muuttaa tasasähköksi. Tasasähkökoneen rakenne tasasähkögeneraattorina ja tasasähkökoneena eivät periaatteessa eroa toisistaan, joten tasasähkökonetta voidaan käyttää sekä moottorina ja generaattorina. Yleisimmät tasasähkökonetyypit:

- vierasmagnetoidut moottorit
- sivuvirtamoottorit
- sarjamoottorit
- yhdysvirtamoottori (kompoundimoottori).

Tasasähkökoneissa magneettipiirin muodostuminen magneettikentälle aiheutuu rautaosista. Tasamagneettikenttien muodostuminen syntyy magneettivuon ansiosta ja koneen napaosat sekä kehä ovat täysrautaa. Sen sijaan roottorin rautasydän on sähkölevyä, koska se joutuu pyörimään tasamagneettikentässä. Periaatekuvassa kuvassa (kuva 1) on numeroitu tasasähkökoneen osat: 1. Kehä, 2. Päänavan rautasydän. 3. Napakenkä. 4. Kääntönavan rautasydän. 5. Ankkurin rautasydän. 6. Ankkurikäämitys. 7. Sivuvirta-

käämitys. 8. Sarjakäämitys. 9. Kääntönapa käämitys. 10. Kompensointikäämitys. 11. Kommutaattori harjoineen (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 360.)



Kuva 1. Tasasähkökoneen aktiiviset rakenneosat (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 360).

Tasasähkökoneiden ominaisuudet moottorina riippuvat suoraan niiden magnetoinnista ja miten se on suoritettu. Tämän perusteella tasasähkömoottorit voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin mutta yleensä käytössä on pelkästään vierasmagnetoituja, joka on toteutettu vahvistavalla päävirtakäämillä varustettuja tasasähkömoottoreita:

- vierasmagnetoidut moottorit
- sivuvirtamoottorit
- sarjamoottorit
- yhdysvirtamoottori (compoundimoottori).

Tasasähkömoottorien virtapiiri piirroskuviissa on käytetty seuraavia merkintöjä tasasähkömoottorin käämitysten napamerkinnoissä ja ankkuri-, kääntönapa- ja kompensointikäämitysten kytkennässä:

- $A_1 - A_2$ ankkurikäämitys
- $B_1 - B_2$ kääntönapakäämitys
- $C_1 - C_2$ kääntönapa- ja kompensointikäämitys
- $D_1 - D_2$ sarjakäämitys

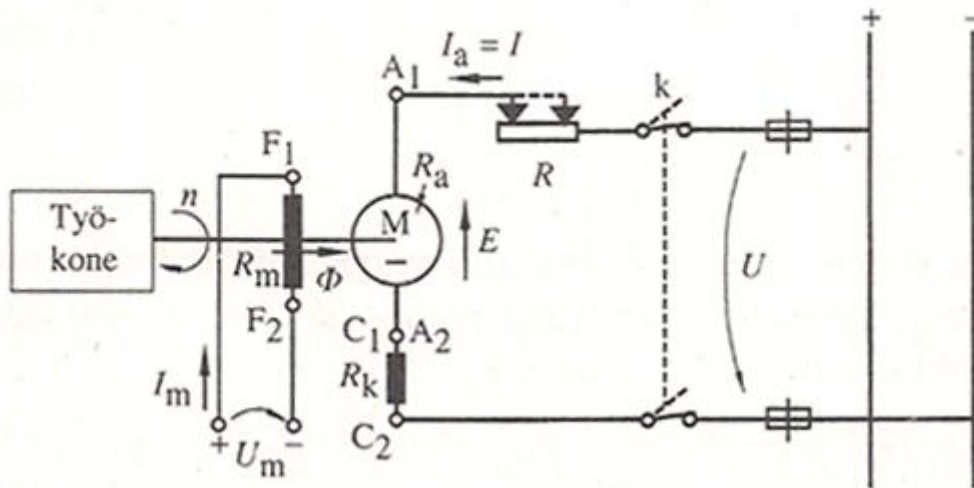
- $E_1 - E_2$ sivuvirtakäämitys
- $F_1 - F_2$ vierasmagnetointikäämitys.

2.1.1 Vierasmagnetoitu tasasähkömoottori

Vierasmagnetoidussa moottorissa magnetointikäämitys saa erillisen säädettävän syötte. Tämä tarkoittaa sitä, että magnetointipiirin avulla voidaan säätää tarpeiden mukaan koneen magnetoinnin tilaa. Magnetoinnin ja ankkurivirran avulla voidaan vaikuttaa koneen momenttiin, joten säätämisen mahdollisuudet ovat hyvät. Vuo on tarkoitus pitää lähellä vakiota ja ohjaus tapahtuu ankkuripiirin jänniteohjauksella.

Ennen k – katkaisijan sulkemista on varmistettava magneitoimisjännitteen U_m kytkeminen magnetointikäämitykseen $F_1 - F_2$. I_m puolestaan pitää olla arvokilvessä osoitetun määrän suuruinen, jotta tarvittava käynnistysmomentti saavutetaan. Muussa tapauksessa käynnistysmomentti on liian pieni ja moottorin akselille kiinnitetty työkon e ei lähde pyörimään.

Vierasmagnetoidun moottorin käynnistäminen (kuva 2) tapahtuu säätämällä liitinjännitettä U nolasta aina nimellisjännitteeseen asti. Toinen vaihtoehto on käyttää moottorin ankkuripiiriin sarjaan kytkettyä käynnistysvastusta R , jos säädettävää jännitelähdettä ei ole käytössä. Vierasmagnetoidun moottorin ollessa käynnissä huomataan, että jos magneettivuo Φ pienenee, niin silloin pyörimisnopeus kasvaa ja tässä tapauksessa on huolehdittava siitä, ettei magneitoimisvirta pääse katkeamaan. Magneitoimisvirran katketessa moottori alkaa ”ryntäämään” eli kommutaattoriin syttyy mahdollisesti kehätuli. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 291.)

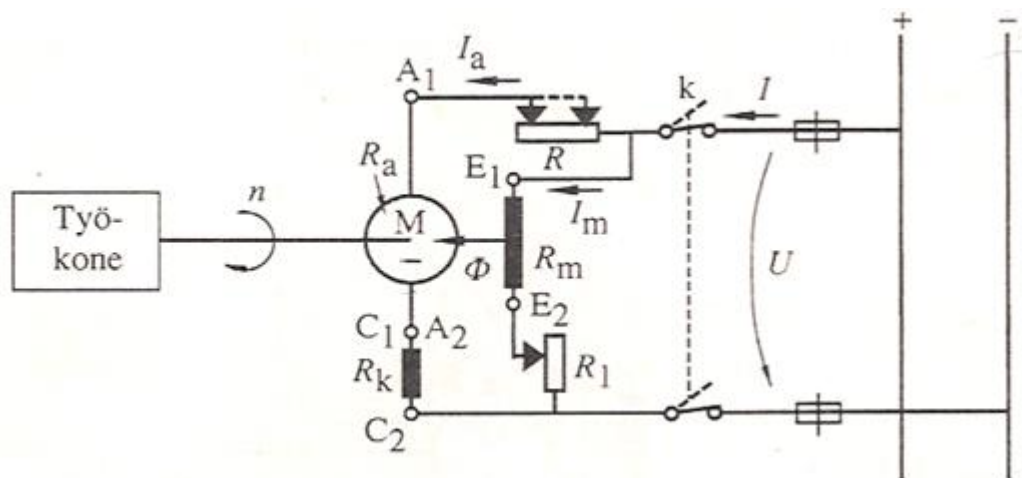


Kuva 2. Vierasmagnetoitu tasasähkömoottorin virtapiiripiirros (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 291).

2.1.2 Sivuvirtamoottori

Sivuvirtamoottorin (kuva 3) ero vierasmagnetoituun moottoriin on vain magnetointitehon ottaminen samasta tehollähteestä ankkuritehon kanssa. Joten käytännössä nämä moottorit ovat olemukseltaan samanlaisia. Heikkoutena sivuvirtamoottorilla on pyörimisnopeuden säätötehtävät, koska ankkurijännitteen U säätäminen ei ole mahdollista.

Käynnistäminen tapahtuu samalla tavalla kuin sivuvirtamoottorissa. Tärkeää on muistaa käynnistystyksen aikana, ettei magnetoimisvirtaa rajoita magnetoinnin säätövastuksella R_1 nimellisvirtaa pienemmäksi. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 295.)



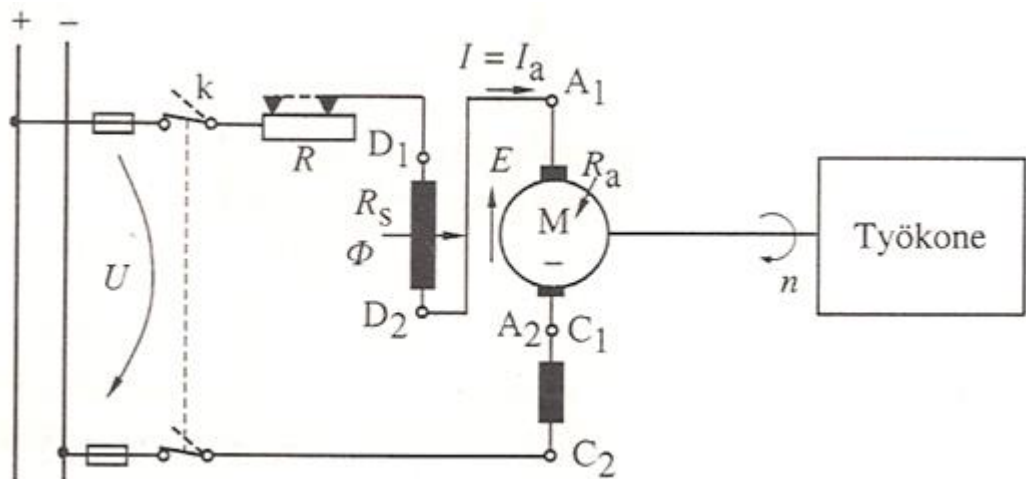
Kuva 3. Sivuvirtamoottorin virtapiiri piirros (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 295).

2.1.3 Sarjamoottori

Sarjamootoreissa magnetointi tapahtuu päänavoilla olevan sarjakäämityksen $D_1 - D_2$ kautta, joka on kytkettynä sarjaan moottorin ankkuripiirin kanssa. Tästä johtuen kuormitus- eli ankkurivirta toimii myös magnetoimisvirtana.

Sarjamoottorin käynnistämisen voi toteuttaa kahdella tavalla. Ensimmäinen on moottorin liitinjännitteen U säätäminen nolasta aina nimellisjännitteeseen asti. Toinen vaihtoehto on käyttää käynnistysvastusta R , joka on sarjaankytketty moottorin kanssa. Tämä vaihtoehto on vain silloin voimassa jos jännitelähde ei ole säädettävissä. Huomionarvoista on myös käynnistysvastuksen vastus, joka pitää olla käynnistytksen tapahtuessa asennossa, jossa sen resistanssi on suurimmillaan. Muutoin käynnistys tapahtuu samalla tavalla kuin vierasmagnetoidussa tasavirtamoottorissa.

Sarjamoottorin (kuva 4) käytössä on huolehdittava erityisesti siitä, ettei se joudu tyhjäkäyntiin. Muutoin sen pyörimisnopeus kasvaa liian suureksi, jota sen osat eivät tule kestämään eli moottori ”ryntää”. Tämän voi estää työkonen puolesta siten, että varmistaa liitosten pysyvyyden ja etteivät liitokset pääse katkeamaan. Esimerkiksi hihnäkäyttö työkonena ei tule kysymykseen. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 296.)



Kuva 4. Sarjamoottorin virtapiiri piirros (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 296).

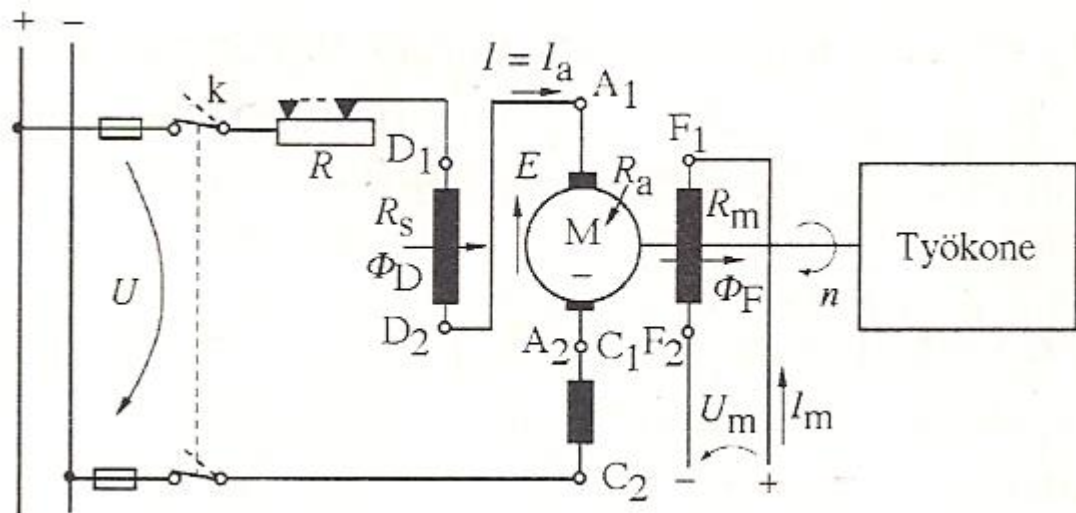
2.1.4 Yhdysvirtamoottori

Yhdysvirta- eli compoundimoottoria käytetään yleensä vierasmagnetoituna, joissa on vahvistava päävirta- eli sarjamagnetointikäämitys. Yhdysvirtamoottorin käynnistäminen tapahtuu samalla tavalla kuin vierasmagnetoidun sivuvirtamoottorin käynnistys eli sää-

tämällä liitinjännitettä U nolasta aina nimellisjännitteeseen asti. Toinen vaihtoehto on käyttää moottorin ankkuriin sarjaan kytkettyä käynnistysvastusta R , jos säädettävää jännitelähdettä ei ole käytössä.

Ominaisuuksiltaan yhdysvirtamoottori (kuva 5) kehittää suuremman sähkövääntömomentin verrattuna vierasherätteiseen moottoriin. Tämä johtuu myötämagneetoivan sarjakäämityksen muodostaman magneettivuon takia, joka vahvistaa vierasmagnetointikäämityksen synnyttämää magneettivuota. yhdysvirtamoottorin pyörimisnopeus pienenee enemmän kuin vierasmagnetoidun moottorin jännitteen U ja magnetointivirran I_m pysyessä vakiona, sillä vahvistava sarjakäämi lisää päävuota kuormituksen kasvaessa. Pyörimisnopeutta säädetään samalla tavalla kuin vierasmagnetoidun.

Sarjakäämityksen takia päävuota vahvistava moottori on vakaampi kentänheikennys alueella verrattuna vierasmagnetoituun moottoriin. Tätä ratkaisua käytetään pääasiassa silloin, kun halutaan moottorille sarjamoottorin ominaisuudet ja mikäli se sattuisi joutumaan tyhjäkäyntiin. Tyhjäkäynnissä tämä tyyppinen moottori toimii sivuvirtamoottorin tavoin. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 298.)

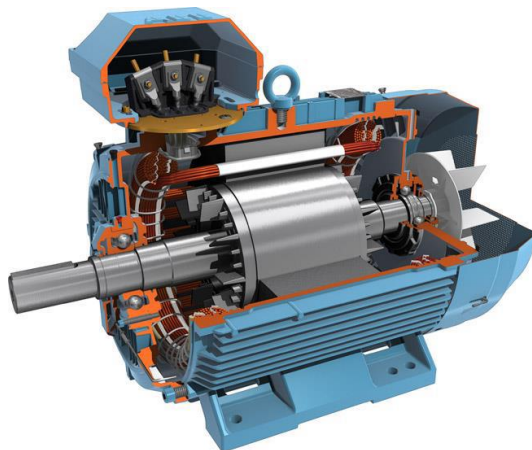


Kuva 5. Kompoundimoottorin virtapiiripiirros (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 298).

2.2 Vaihtosähkökoneet

Vaihtosähkökoneet ovat myös käytännöllisiä, sillä ne poikkeavat vain muutamalla rakenne-erolla tasasähkökoneista (kuva 6). Tähän kuuluvat yleisvirtamoottorit, koska ne toimivat yleensä tasa- ja vaihtosähköllä. Vaihtosähkömoottoreiden huomattavan edun erilaisissa käytännön sovelluksissa antaa epätahti- eli induktiomoottori, koska sen voi valmistaa oikosulkumoottoriksi. Sen käyttöä rajoittaa kuitenkin pyörimisnopeuden huono säädettävyys, johon on keksitty ratkaisuksi taajuusmuuttajat. Taajuusmuuttajan eli invertterin avulla voidaan pyörimisnopeuden säätö saada lähelle tasasähkömoottorin tasoa. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 305.)

Vaihtosähkökoneet toimivat pyörivän magneettikentän ansiosta. Vaihtosähkökoneen liikkuva osa voi pyöriä magneettikentän kanssa joko samalla tai erinopeudella. Tämän ilmiön perusteella vaihtosähkökoneet voidaan jakaa tahtikoneisiin ja epätahtikoneisiin. Kaikkien vaihtosähkökoneiden yhteinen tekijä on, että niiden seisojaan eli staattoriin, on kehitettävä pyörivä magneettikenttä. Kolmi- ja yksivaihekoneissa tämä on toteutettu toisistaan poikkeavilla tavoilla. Toiminnan edellytyksenä on pyörivä magneettikenttä, joka saadaan aikaan ilman lisälaitteita. Tämä tapahtuu symmetrisen kolmivaihekäämityksessä eli siinä kulkevan symmetrisen vaihtovirran avulla. Tämän lisäksi sähkömagneettiset koneet voivat toimia generaattorin ja moottorin tavoin. Eniten sähkökoneista käytetty lienee kolmivaiheinen oikosulkumoottori.



Kuva 6. Tyypillinen vaihtosähkökoneen läpileikkaus (ABB Oy Kotimaan Myynti, 4)

Epätahtikoneiden rakenne koostuu roottorin (pyörijä) ja staattorin (seisoja) käämityksestä levypaketteineen, jotka muodostavat koneen aktiiviset osat. Passiivisia osia, joiden

tehtävä on pitää aktiiviset osat paikoillaan, johtaa sähköä koneeseen tai siitä pois ja pyörivän liikkeen välittäminen moottorista työkoneseen. Koska vaihtosähkökoneen roottori pyörii eri nopeudella eli epätahdissa magneettikentän kanssa, joka on staattorikäämityksen aikaansaama, tämä tekee siitä epätahtikoneen. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 305.) Epätahtikoneet voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin:

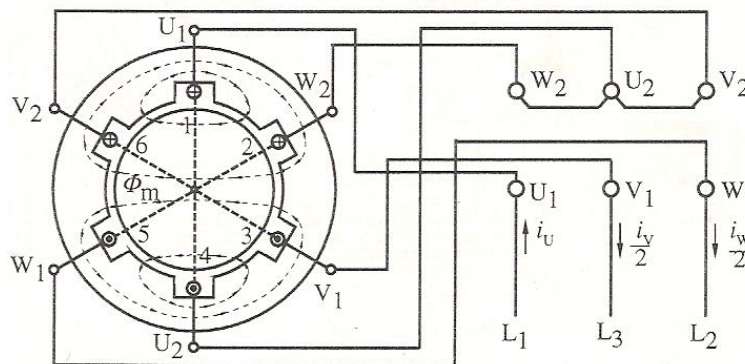
Epätahtimoottorit

- kolmivaiheiset oikosulkumoottorit
- yksivaiheiset oikosulkumoottorit
- liukurengasmoottorit.

Epätahtigeneraattorit

- verkkomagnetoidut oikosulkumoottorit
- kondensaattorimagnetoidut epätahtigeneraattorit.

Alhaalla (kuva 7) on kaaviollisesti esitetty vaihtosähkömoottorin kolmiovaihekäämitys, jossa kutakin vaihetta vastaa kaksi uraa. Kytkennän loppupää on tähteen kytketty (U_2 , V_2 ja W_2) ja alkupää (U_1 , V_1 ja W_1) liitetään kolmivaihejohtoon (L_1 , L_2 ja L_3), jolloin käämityksen läpi kulkee kolmivaihevirta symmetrisesti (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 307).



Kuva 7. Vaihtosähkökoneen kaavio kolmiovaihekäämityksen synnyttämästä pyörivästä magneettikentästä (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 307).

2.2.1 Toiminta moottorina

Moottorin toiminta perustuu magneettikentässä olevan virrallisen johdinsilmukan ja magneettikentän väliseen voimavaikutukseen. Kun roottorin johdinsilmukassa vaikuttaa

virta, se aiheuttaa silmukan ympärille oman magneettikenttensä, jolloin molemmat magneettikentät yhdistyvät ja tuloksena on resultoiva kenttä. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 139.) Tässä on listattu tyypillisimmät moottorityypit.

Epätahtimoottoreita ovat:

- kolmivaiheiset oikosulkumoottorit
- yksivaiheiset oikosulkumoottorit
- liukurengasmoottorit.

2.2.2 Kolmivaiheinen oikosulkumoottori

Kolmivaiheiset oikosulkumoottorien toiminta pohjautuu siihen, että niiden roottoriin on pystyttävä kehittämään pyörivä magneettikenttä. Staattorin symmetrisen kolmivaihekäämityksen ja siinä kulkevan symmetrisen vaihtovirran (kuva 9) avulla, moottori ei tarvitse lisälaitteita pyörivän magneettikentän luomiseen. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 305.)

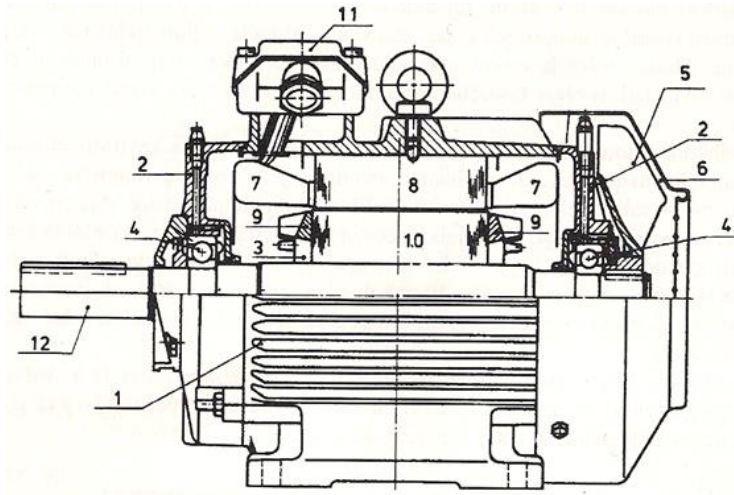
Tämä on toteutettu siten, että käämityksen loppu pää U_2 , V_2 ja W_2 ovat yhdistetty tähden ja käämityksen alkupäät U_1 , V_1 ja W_1 ovat yhdistetty vaihejohtimiin L_1 , L_2 ja L_3 kuvan 2 mukaisesti. Näin käämityksen läpi kulkee kolmivaiheinen virta. Alhaalla on oikosulkumoottorin (kuva 8) kokoonpanopiirustus ja osat numeroituna. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 306.)

1. Staattorin eli seisojan runko.
2. Laakerikilvet.
3. Roottori eli pyörijä.
4. Laakerit.
5. Tuuletin.
6. Tuulettimen suojaus.
7. Staattorin eli seisojan käämitys.
8. Staattorin eli seisojan levypaketti.
9. Roottorin eli pyörijän käämitys.

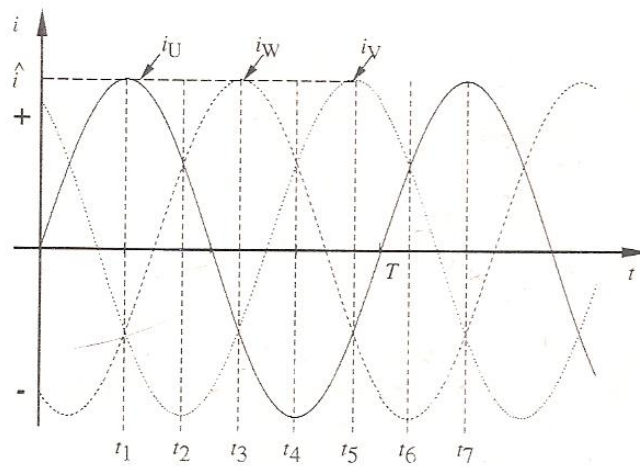
10. Roottorin eli pyörijän levypaketti.

11. Liitinkotelo.

12. Akseli.



Kuva 8. Oikosulkumoottorin kokoonpanopiirustus (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 306).



Kuva 9. Symmetrinen vaihtovirta (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 121).

2.2.3 Yksivaiheinen oikosulkumoottori

Yksivaiheinen oikosulkumoottori toimii samoin, jos kolmivaiheisen epätahtimoottorin yksi vaihejohdin irrotettaisiin. Tällöin moottori jatkaa käyntiään yksivaiheisena ja siinä kulkee sama virta. Tämä vastaa kytkentää, jossa staattorin uriin on tehty vain yksi käämitys. Käämiin syntyy näin sykkivä magneettikenttä vaihtovirran ansiosta ja näin aihe-

uttaa pyörittävän vääntömomentin moottoriin roottorin pyöriessä. Käynnistäminen aloitetaan antamalla moottorille alkunopeus, koska paikallaan oleva roottorin takia ei vääntömomenttia synny ja näin ollen moottori ei myöskään käynnisty. Alkunopeuden suunnalla ei ole väliä, joten se muutetaan kaksivaihemoottoriksi siten, että uriin käämitään 90° kulmaan kaksi käämitystä toisiinsa nähden.

Kaksivaiheisuutta tarvitaan vain käynnistykseen yhteydessä, koska pyörimisnopeuden saavutettua moottori kehittää vääntömomentin yksivaihemoottorina. Yksivaiheiset oikosulkumoottorit ovat periaatteessa kaksivaihemoottoreita, joiden syöttö tapahtuu kuitenkin yksivaiheisesta verkosta. Tämä takia ne ovat hyviä pienkoneita erilaisiin tehtäviin. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 307.)

2.2.4 Liukurengasmoottori

Liukurengaskone on toinen epätahtimoottori tyyppi oikosulkumoottorin lisäksi. Liukurengasmoottorissa käämitys on toteutettu toisella tavalla oikosulkumoottoreihin verrattuna, niitä ei ole oikosuljettu koneen sisään vaan sen toisen pään johtimet on tuotu ulos liukurenkaiden avulla. Tämän avulla roottoriin voidaan kytkeä ylimääräinen vastus, mikä mahdollistaa moottorin käynnistysmomentin säätöä tai parantaa hyötysuhdetta sen ollessa liukurengasgeneraattori.

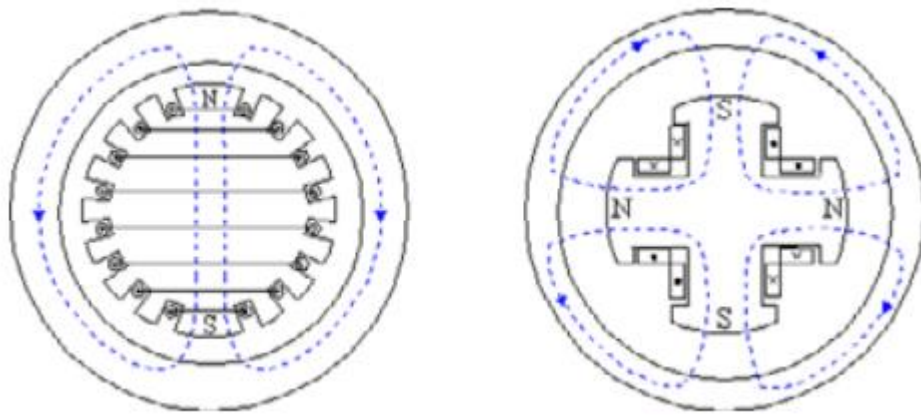
Vastuksen lisääminen käynnistyvän moottorin tapauksessa lisää maksimimomentin jättämää eli maksimimomentti saadaan koneesta pienemmillä kierrosnopeuksilla suurilla ulkopuolisilla vastuksilla. Vastuksen arvoa muuttamalla sopivassa rytmisessä käynnistykseen edetessä, voidaan tällöin koneen tuottama momentti pitää korkeana käynnistykseen aikana. Muilta ominaisuuksilta ja toiminnan puolesta liukurengaskone on samantyyppinen verrattuna oikosulkukoneeseen.

2.2.5 Tahtikone

Tahtikoneiden tarkoitus on pyöriä koneen sisäisen magneettikentän ja syöttävän verkon tahdissa. Tästä tulee nimitys tahtikone. Tahtikone voi myös pudota verkosta, jolloin se on tahdistettava uudelleen. Tämä voi tapahtua kuorman kasvaessa liikaa, jolloin kone täytyy irrottaa verkosta. Tahtikoneen staattorissa on kolmivaiheinen vaihtovirta käämitys mutta roottorin magnetointikäämitykseen johdetaan tasavirtaa. Roottorin rakenteen puolesta tahtikoneet voidaan jakaa umpinapa- ja avonaparoottoreihin (kuva 10) Nopea-

käyntisissä koneistoissa käytetään yleisimmin lieriöroottorista eli umpinapaista tahtigeneraattorirakennetta.

Lieriöroottorinen eroaa varsinaparoottorisesta tahtikoneesta, siten että se on magneettisesti symmetrinen, koska ilmvälän tasaisuutta rikkoo vain uritus. Tästä seurauksena on, että koneen toiminnan tarkastelussa ei lois- ja pätövirran aiheuttamaa ankkurireaktiota tarvitse tarkastella erikseen, koska koneen magneettinen vastus on yhtä suuri pitkittäis- ja poikittaissuunnassa pääkenttää nähden. (IS-VET:n TERCO, 11.)



Kuva 10. Vasemmalla 2 – napainen umpinaparoottori ja oikealla 4 – napainen avonaparoottori (Leena Korpinen, 2014, 1).

2.2.6 Reluktanssimoottori

Reluktanssimoottorin on tarkoitus käynnistyä oikosulkumoottorina mutta toimii käytössä tahtimoottorina. Reluktanssimoottori on kolmivaiheinen ja oikosulkumoottorina itsestään käynnistyvä ja alhainen moottoriresistanssi varmistaa tahdistuksen ja käytön tahtimoottorina käynnistämisen jälkeen. Useimmiten osa roottorin hampaista on poistettu, jotta saadaan tyypillinen nelinapainen roottori.

Tämän tyyppinen moottori ei voi toimia vakiotaaajuisessa sähköverkossa, vaan syöttävän lähteen ja moottorin välissä täytyy olla katkojapiiri. Moottorin toimintaa kuvaa tapa, jossa roottori pyrkii aina asentoon, missä reluktanssi magneettipiirissä toisinsanoen magneettinenvastus on mahdollisimman pieni. Poikkeuksena, jos jännite on vakiotaajuinen reluktanssimoottorin napakenkien ja roottorin urajaon täytyy olla tarkoin sama. Reluktanssimoottorin rakenne (kuva 11) koostuu kuvanmukaisesti vasemmalta oikealle: sähköpellin rakenne, peltien latominen roottoriksi esimerkiksi suoraan akselille, rootto-

rin rungon asentaminen akselille tasapainottaen sen akselin asennuksen jälkeen ja roottori staattorin sisällä esimerkiksi vakiostaattori neljä napaisella rakenteella. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 332.)



Kuva 11. Tahtireluktanssikoneen konsepti (ABB Oy Kotimaan Myynti, 6).

2.2.7 Toiminta generaattorina

Generaattorikäytössä kentän nopeus on pienempi roottori nopeuteen verrattuna. Generaattoreissa kapasitiivinen kuormitusvirta magnetoi konetta samaan suuntaan kuin vieras tasasähkömagnetointi. Kapasitiivinen loisvirta on tässä tapauksessa generaattorin magnetoimisvirtaa, joka synnyttää jännitteen indusoivan magneettivuon ja indusoitunut jännite jää vuosta 90° jälkeen. (Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996, 178.)

Epätahtigeneraattorit voidaan jakaa niiden magnetoinnin perusteella kahteen ryhmään: kondensaattori- ja verkkomagnetoituihin epätahtigeneraattoreihin. Tässä on listattu tyypillisimmät generaattorityypit.

Epätahtigeneraattoreita ovat:

- verkkomagnetoidut epätahtigeneraattorit
- kondensaattorimagnetoidut epätahtigeneraattorit.

2.2.8 Verkkomagnetoitu epätahtigeneraattori

Verkkomagnetoitu epätahtigeneraattori ottaa magnetoimisvirtansa suoraan sähköverkosta ja tämän takia ne eivät pysty syöttämään sähkötehoa muihin kuin jännitteisiin verkkoihin. Tämän tyyppisiä verkkomagnetoituja epätahtigeneraattoreita on käytetty pienitehoisissa vesivoimalaitoksissa. Oikosulkukoneen rakenne on yksinkertainen, joten se ei tarvitse tasasähköä ja sitä voi myös helposti kauko-ohjata.

Tyhjäkäynnissä epätahtikone ottaa vain rautahäviöiden verran tehoa, kun jättämä on nolla. Vääntömomentin kasvaessa myös pyörimisnopeus kasvaa tahtinopeuden yli, joka johtaa epätahtikoneen pätötehon syöttämistä verkkoon. Tästä johtuen epätahtikone ottaa mekaanisen tehon pyrittävästä voimakoneesta, muuttaa sen sähköksi ja syöttää verkkoon.

2.2.9 Kondensaattorimagnetoitu epätahtigeneraattori

Kondensaattorimagnetoidut epätahtigeneraattorit ottavat magnetointivirtansa koneen liittimiin asennetuista magnetoimiskondensaattoreista. Tämän takia ne pystyvät toimimaan täysin omana yksikkönä. Tämän tyyppisinä generaattoreina käytetään oikosulkukoneina poltto- tai dieselmoottorin ollessa voimakoneena. Esimerkkinä tästä on syrjäinen paikka tai seutu, jossa ei ole yleistä sähköverkkoa tai varageneraattoreita.

Toiminta perustuu itse magnetointiin eli ne osaavat toimia itsenäisinä generaattoreina. Itsemagnetoituvien generaattorien vaatimuksena on se, että rautaosien pitää olla magneettisesti kyllästyviä. Generaattorinen herääminen kehittää siihen jännitettä ja tämä tapahtuu, kun roottoriraudassa on jäännösvuo, koneella on iso pyörimisnopeus ja koneessa ei ole kuormaa.

2.3 Momenttivaa'at

Momenttivaakojen käyttötarkoitus on pystyä näyttämään vääntömomentti sähkökoneiden ollessa generaattorina ja moottorina. Käyttötarkoitus pitää sisällään myös moottorin tarvittavan vääntömomentin testaamisen ja mittauksen. Momentin mittaukseen käytettävä laitteisto voi olla digitaalinen anturiyksikkö johon liitetään näyttöyksikkö tai analoginen mittaritaulu.

Digitaalisella momentinmittausyksiköllä on mahdollista mitata sen hetkinen vääntömomentti, kierrosnopeus ja akselintehomittari. Tällä mittarilla voi mitata samalla vääntömomentin, kierrosnopeuden ja akselitehon. Analoginen momentinmittaustaulu (kuva 12) on tasavirtaheilurikone, joka on ripustettu vapaasti putkirunkoon ja on sijoitettuna alumiinialustalle. Tarpeelliset säädöt, liitännät ja mittarit on asetettu etupaneeliin. Vääntömomentti luetaan analogiselta mittaritaululta. Pedagogisesti analoginen vääntömo-

mentin mittausjärjestelmä on hyvä havainnollistamaan momentin suuruutta ja on helpokäyttöinen. Vaihtoehtoinen valinta on myös malli MV 1026, joka on kuin edellinen mutta sen käyttömootorin akseli on avoinna molemmista päistä, mikä mahdollistaa kahden koneen yhtäaikaisen kytkennän moottoriin kiinni. Tällä tavalla voidaan tutkia ja mitata 4Q käyttöjä, kun käytössä on vaihtovirta- ja tasavirtamoottori. 4Q tasasuuntaajaa käyttöä tarvitaan, kun kuormitusta generoituu jatkuvasti. (IS-VET:n Terco, 4.)



Kuva 12. Analoginen vääntömomentin mittaustaulu mallia MV 1036 (IS-VET:n Terco, 4).

3 SÄHKÖLABORATORIOSTANDARDIT

Sähkö – ja käyttötöiden yhtenä tekemisen ehtona on, että käytössä on harjoitusten tekemisen pohjalta tarpeelliset tilat, välineet ja koneet, sekä sähköturvallisuutta koskevat säännökset ja määräykset sekä itsenäisesti töitä suorittavalla ja valvovalla henkilöllä on riittävä kelpoisuus tai ammattitaito (STL 410/96 § 8), KTM 516/96, SFS 6002). Standardia SFS 6000-8-803 noudatetaan sähkölaboratoriotilojen lisäksi myös sähkökorjaamotilojen osalta. Sähkölaboratorio on järjestettävä siten, että vain ammattitaitoiset – ja opastetut henkilöt pääsevät näihin tiloihin. Muulloin näihin tiloihin pääsee sähköalalla maallikko vain ammattitaitoisen henkilön tai opastetun henkilön valvonnassa (SFS 6002 ja SFS 6000-8-803). Mikäli sähköalan ammattitaitovaatimuksia ei edellytetä johonkin tiettyyn sähkölaitteeseen tai sähkölaitteisiin, on tekijän oltava tarpeeksi asiaan perehtynyt ja opastettu (KTMp 516/96 § 9).

Tukesin vuosittain uudistettavassa S10 – ohjeessa on määritetty standardit, joita tulee noudattaa sähköasennuksissa. Sähkölaboratorioita koskevat vaatimukset on sisällytetty osaan SFS 6000-8-803. Standardi SFS 6002, 2. painos vuodelta 2005, käsittelee sähköturvallisuutta, mistä selviää vaatimukset sähkölaitteiden turvalliselle käytölle ja sähkölaitteistoissa tai niiden lähellä työskentelyssä.

Seuraavat sähkötyö- ja sähköturvallisuusasioita käsittelevät ajantasaiset lähdeoteokset pitää olla saatavilla. Tämän lisäksi tarpeellista on olla myös saatavilla aineistokohtaisen ja henkilökohtaisten oppikirjojen materiaali.

Lait, asetukset ja kauppa- ja teollisuusministeriön päätökset:

- Sähköturvallisuuslaki (410/1996, 634/1999, 893/2001 1 § kohta 26, 913/2002, 220/2004, 1465/2007).
- Sähköturvallisuusasetus (498/1996, 323/2004).
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä (516/1996, 28/2003, lisäys sähkötyöturvallisuudesta 1194/1999).
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/1996, 30/2003, 335/2004).

- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiden turvallisuudesta (1694/1993, muutos 922/1994, 1216/1995, 216/1996, 650/1996 ja 29/2003).
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiden ja laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (1696/1993, 923/1994 ja 652/1996).
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999).
- Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (1466/2007).

Turvatekniikan keskuksen ohjeet:

- S4-04 Sähkölaitteistot ja käytön johtajat.
- S7-98 Sähkötöitä koskeva toimintailmoitus.
- S10-2008 Sähkölaitteistojen turvallisuutta ja sähkötyöturvallisuutta koskevat standardit

Standardit:

- SFS 6000 (2007+A1/2007) Pienjännitesähköasennukset (37 eri standardia).
- SFS 6001+A1 (2005) Suurjännitesähköasennukset.
- SFS 6002 (2005) Sähkötyöturvallisuus.

Muut julkaisut:

- A4-93 Vahvavirtailmajohtomääräykset, Sähkötarkastuskeskuksen julkaisu.
- D1-2009 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista, Suomen sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry:n julkaisu.
- ST-kortisto, Sähkötieto ry:n julkaisu.
- Sähköalan säännökset, Henkilö- ja Yritysarviointi Seti ry:n julkaisu.

Opiskeluiden edetessä myös opiskelijan tiedot ja taidot kehittyvät. Jotta jo opittu tieto ei unohtuisi, on tärkeää tarkastaa usein opetuksen eri vaiheissa, että perustiedot ovat hal-

linnassa ja opiskelija pystyy näin turvallisesti etenemään opiskeluissaan. Pahimmassa tapauksessa asioiden unohtuminen voi olla esteenä opiskeluiden etenemiselle. Tähän voi johtaa jatkuviin poissaoloihin lähiopetustunneilta.

Sähkötilat määritellään tässä tiloiksi, missä annetaan valmentavaa tai perehdyttävää koulutusta käytännön tasolla ja joissa esiintyy sähköiskun vaara. Tällaisiin tiloihin kuuluvat varsinaisten sähkötyöpajojen lisäksi myös muut työpajat ja laboratorio, joissa sovelletaan sähkökorjaamoja ja laboratorioita koskevia vaatimuksia sovelletusti. Näiden tilojen pistorasiat ovat suositellusti tarkoitettu suojattavaksi enintään 30 mA vikavirtasuojalla.

Standardia SFS 6000-8-803 pienjänniteasennukset tulee noudattaa sähkölaboratorioiden sähköasennuksissa. Osa 8-803 vastaa Sähkölaitekorjaamot ja laboratorio vaatimuksia. Tilat, jotka ovat jo olemassa, jotka vastaavat aikaisemmin voimassa ollutta Sähkötarkastuksen tiedonantoa T 49 – 84, saa edelleen käyttää. Mikäli tilassa tehdään testauksia, mihin liittyy yli 1000 V jännite, noudatetaan standardia SFS – EN 50191. Sähkölaboratorioiden tiloissa on tehtävä kunnossapito-ohjelma, johon liittyvät määräajoin tehtäviä kunnossapitotarkastuksia ja muita mittauksia. Tällä pyritään varmistamaan turvallisuus ja suojalaitteiden toimintavarmuus. (Toimintaohje työ-, sähkötyö- ja sähköturvallisuusvaatimusten huomioimiseksi sähkötöiden koulutuksissa., 32.)

4 TYÖTURVALLISUUS

Työsali- ja sähkölaboratoriotilojen pitää olla riittävän laajoja ja hyvin varusteltuja, jotta harjoittelu ja opetus on niissä mahdollista toteuttaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että harjoituksesta tai työstä riippuen, jokaiselle opiskelijalle tai opiskelijaparille on oma työpiste, mistä löytyy tarpeelliset laitteet ja työvälineet. Työsalitilojen tulee olla riittävän monipuoliset, jotta suurin osa ammattiaineiden opetuksesta voidaan suorittaa työsalili- tai sähkölaboratoriotiloissa. Edellä mainitut asiat ovat tärkeitä laadukkaan koulutuksen toteuttamiseen, minkä työelämä katsoo vaatimukseksi. Huomionarvoista on myös se, että aiemmin rakennetuissa kohteissa kannattaa katsoa vaatimukset tilojen valmistusajankäytön Sähkötarkastuskeskuksen määräyksistä ja julkaisuista tai standardeista. 2000 – luvun alussa olleet standardit löytyvät SFS – käsikirjasta 144 ja sitä vanhemmat vaatimukset Turvatekniikan keskuksen verkkosivuilta. (Toimintaohje työ-, sähkötyö- ja sähköturvallisuusvaatimusten huomioimiseksi sähkötyöiden koulutuksissa., 12.)

Mikäli kuitenkin sähkölaboratorio tai vastaavat tilat eivät täytä vaatimuksia, on niistä havainnon tehneen henkilön ilmoitettava välittömästi tiloista tai työstä vastaavalle henkilölle tai taholle. Näin sähkölaboratorio tai vastaavat tilat tulee aina saattaa mahdollisimman nopeasti asianmukaiseen ja vaatimusten mukaiseen kuntoon. Mikäli puute tai vika voi aiheuttaa vaaratilanteen, koulutusta ei voida jatkaa ennen kuin tilat on saatu opetusta vastaavaan kuntoon. Kun puute tai vika on korjattu, tulee koulutusta antavan henkilön varmistaa, että työskentely tiloissa on turvallista. YSE 98:n mukaan, kun työskennellään yhteisillä työmailla, niin jokaisella työntekijällä tulee olla henkilökortti kuvan kanssa. Tämä henkilökortti voi toimia myös tunnuksena, jolla voi opastaa ja perehdyttää sähkölaboratorio – tai työsalitilojen toimintaan.

Perehdyttäminen on tärkeä edellytys sähkölaboratorio- ja työsalitiloihin pääsyyn ja siellä työskentelyyn. Henkilö tulee aina perehdyttää työpaikan vaatimuksiin ja olosuhteisiin, jotta toiminnan turvallisuus voidaan varmistaa (SFS 6002). Perehdyttäminen työsalili- tai sähkölaboratoriotiloihin pitää sisällään kertomisen sähkön vaaroista ja tapaturmista ja annetaan toimintaohje sähkötapaturman sattuessa. Tehtävät, jotka luokitellaan sähkötyöiksi työsalissa tai sähkölaboratoriossa, vaaditaan opiskelijalta hyväksytty sähköturvallisuusstandardin SFS 6002 mukainen ensiapukoulutus. Tämän lisäksi edellytyksenä on sähkön vaarojen, tapaturmien ennakointi sekä tiedostaminen ja tieto siitä miten sähkötapaturman sattuessa toimitaan.

Ammatillisen koulutuksen tärkeimpiin asioihin kuuluvat työaikojen noudattaminen ja niiden raportointi, kuten myös sovitusta asioista kiinnipitäminen. Näitä asioita tulee harjoitella ja mikäli niistä poiketaan, niihin tulee puuttua välittömästi. Turvallisuuden lisäämiseksi, on ensimmäiset harjoitustöitä sähköön kanssa tehtävä pienoisjännitteellä. Tauot ovat myös tärkeä osa turvallisuuden huomioimiseksi, joten työympäristö, työsalit ja työpisteet on hyvä tehdä jännitteettömiksi taukojen ajaksi. Opintojen tulee näin ollen koostua käytännön harjoituksista ja tehtävistä, koska pelkkä teorian opetus ei mahdollista riittävän hyvään ammattitaitoon tai toimintatapoihin, jotka ovat turvallisia työelämän edellytyksen puolesta.

Sähkölaboratoriossa on hyvä pitää säännöllisin aikavälein tarkastuksia laitteille ja niiden suojauksille sekä suorittaa mittauksia turvallisuuden kannalta. Seuraavassa taulukossa (taulukko 1) on esimerkki kyseisestä operaatiosta ja aikavälit ovat suuntaa-antavia eli niitä voi soveltaa. Lopuksi tulokset merkitään muistiin ja säilytetään tallessa.

Taulukko 1. Kunnossapito tarkastus- ja mittaustaulukko (Säköturvallisuuden edistämiskeskus STEK ry 2009).

Tehtävä	Mittaus / Tarkastus	Aikaväli
Merkintöjen ja suojalaitteiden arvojen tarkistus	T	4 kk
Mittajohtimien ja siirrettävien laitteiden kunnon tarkastus	T	4 kk
Vikavirtasuojien testaus testinapilla	T	2 kk
Asennuksien tarkastus silmämääräisesti	T	6 kk
Vikavirtasuojien testaus mittalaitteella	M	4 kk
IT - järjestelmän erityistilan valvontalaitteiden testaus	M	6 kk
Erotuslaitteiden hätä-seislaitteiden toiminnon tarkastus	T	6 kk
IT - järjestelmän muuntajan erityistilan testaus	M	1 v
Lattia- ja pöytäpintojen eristävyysmittaus	M	1 v
Asennuksien erityistilan mittaus	M	1 v

5 LAITTEISTON KÄYTTÖNOTTO JA TESTAUS

Laitteiden käyttöönotto piti sisällään niiden testauksen harjoitustöiden (kuva 13) avulla. Näin pystyi varmistamaan, että ne toimivat kuten pitääkin ja että yllätyksiä ei tule vastaan opetuksessa. Testattavia laitteita olivat tahtikone MV 1008, oikosulkumoottori MV 1009 ja momentinmittausyksikkö MV 1054.

Näiden lisäksi oli myös TERCO:n DAQ (Data Acquisition Package) MV 1942 moduuli ja sen kanssa käytettävä ohjelmisto. Testaukset koostuivat harjoitustöistä, jotka kuuluivat koneiden kanssa suoritettaviin mittauksiin. Harjoitustyöt koostuivat kahdeksasta tehtäväkokonaisuudesta:

- Tutustuminen.
- Tasavirtageneraattori.
- Tasavirtamoottori.
- Tahtigeneraattori.
- Tahtimoottori.
- Epätahtimoottori 1.
- Epätahtimoottori 2.
- Epätahtimoottori 3.



Kuva 13. Tasavirtageneraattori ja epätahtimoottori hyötysuhteen suoramittauksessa.

5.1 Tahtikone

Yleisessä testauksessa tahtikonetta MV 1008 oli tarkoitus käyttää generaattorina ja moottorina. Generaattorina toimiessa tarkoitus oli mitata 3 – vaiheista ominaiskäyriä: tyhjäkäynnissä, oikosulussa ja kuormituksessa. Kuormituskäyrän mittauksessa oli mukana kuormitusvastus, kolmio – kytketty kuormitusreaktanssi ja tähti – kytketty kuormituskondensaattori.

Moottorina tahtikone oli tahdistettu verkkoon tasavirtakoneen avulla. Tämä mahdollisti tahtikoneen tutkimista vaiheensiirtäjänä ja moottorina. Tutkimisen aikana oli tärkeää seurata mittauslaitteita, jotta koneen nimellisarvot eivät ylittyisi harjoitustyön aikana.

5.2 Epätahtikone

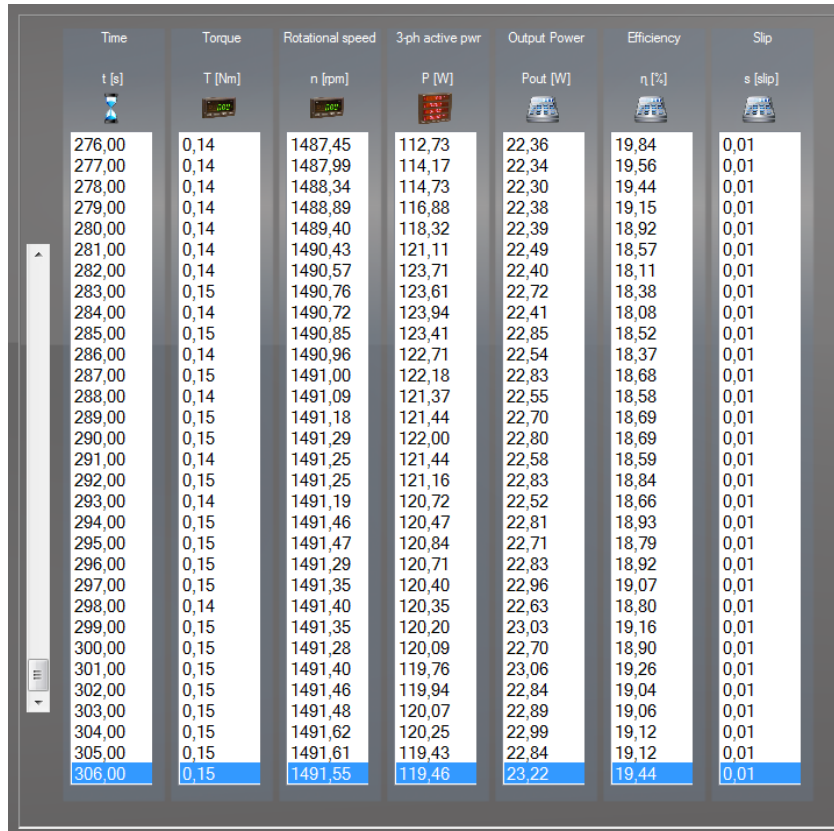
Yleisessä testauksessa epätahtikonetta MV 1009 eli oikosulkumoottoria oli tarkoitus testata moottorina ollessa Y/Δ – kytkentää vastaavaa käynnistystä, hyötysuhteen mittaamista eri kuormituksilla ja momenttikäyriä jättämän funktiona. Testaukseen kuului myös käynnistysvirtojen mittaaminen ja epätahtimoottorin liitäntöjen tutkimista.

Tämä piti sisällään teorian siitä, miten käynnistysvirtaa voidaan pienentää kytkemällä moottori tähteen tavallisen kolmion sijasta ja lukitustangon käyttö tuli samalla selvitettyä. Viimeisessä testauksessa tuli tarkasteltua epätahtimoottorin koestusta ja häviöiden summauksen menetelmää. Tässä tuli selvitettyä miten standardien mukaan moottorin hyötysuhde pitää mitata 3 – vaiheisella moottorilla, joiden teho on 400 W tai suurempi.

5.3 Momentinmittausyksikkö

Momentinmittausyksikön MV 1054 ja TERCO:n DAQ (Data Acquisition Package) MV 1942 moduulin testaus sujui samaan aikaan kuin epätahtimoottorin ja tahtimoottorin testaus. Testaukseen kuului selvittää liitännät ja toiminnot sekä säätömahdollisuudet. Näyttöyksikköön oli mahdollista liittää sarjaan Modbus – portin kautta joko DC – tai AC – mittauslaite ja näin saada kahden mittausyksikön reaaliaikaiset tiedot PC:lle (kuva 14) samaan aikaan kummastakin laitteesta. MV 1942 moduuli yhdistetään näyttöyksikköön COM interface – portista ja PC:lle USB – portista.

Moduuli täytyy olla half – duplex asetuksella, joka löytyy moduulista kohdasta half / full duplex. Tällä asetuksella DAQ – ohjelma tunnistaa laitteen ja pystyy näyttämään mitatut tiedot näytöllä. Ohjelman testaus onnistui asentamisen jälkeen normaalisti, josta sai tiedot ylös esimerkiksi Excel taulukkoon momentista, pyörimisnopeudesta ja tehosta sekunnin välein.



Time	Torque	Rotational speed	3-ph active pwr	Output Power	Efficiency	Slip
t [s]	T [Nm]	n [rpm]	P [W]	Pout [W]	η [%]	s [slip]
276,00	0,14	1487,45	112,73	22,36	19,84	0,01
277,00	0,14	1487,99	114,17	22,34	19,56	0,01
278,00	0,14	1488,34	114,73	22,30	19,44	0,01
279,00	0,14	1488,89	116,88	22,38	19,15	0,01
280,00	0,14	1489,40	118,32	22,39	18,92	0,01
281,00	0,14	1490,43	121,11	22,49	18,57	0,01
282,00	0,14	1490,57	123,71	22,40	18,11	0,01
283,00	0,15	1490,76	123,61	22,72	18,38	0,01
284,00	0,14	1490,72	123,94	22,41	18,08	0,01
285,00	0,15	1490,85	123,41	22,85	18,52	0,01
286,00	0,14	1490,96	122,71	22,54	18,37	0,01
287,00	0,15	1491,00	122,18	22,83	18,68	0,01
288,00	0,14	1491,09	121,37	22,55	18,58	0,01
289,00	0,15	1491,18	121,44	22,70	18,69	0,01
290,00	0,15	1491,29	122,00	22,80	18,69	0,01
291,00	0,14	1491,25	121,44	22,58	18,59	0,01
292,00	0,15	1491,25	121,16	22,83	18,84	0,01
293,00	0,14	1491,19	120,72	22,52	18,66	0,01
294,00	0,15	1491,46	120,47	22,81	18,93	0,01
295,00	0,15	1491,47	120,84	22,71	18,79	0,01
296,00	0,15	1491,29	120,71	22,83	18,92	0,01
297,00	0,15	1491,35	120,40	22,96	19,07	0,01
298,00	0,14	1491,40	120,35	22,63	18,80	0,01
299,00	0,15	1491,35	120,20	23,03	19,16	0,01
300,00	0,15	1491,28	120,09	22,70	18,90	0,01
301,00	0,15	1491,40	119,76	23,06	19,26	0,01
302,00	0,15	1491,46	119,94	22,84	19,04	0,01
303,00	0,15	1491,48	120,07	22,89	19,06	0,01
304,00	0,15	1491,62	120,25	22,99	19,12	0,01
305,00	0,15	1491,61	119,43	22,84	19,12	0,01
306,00	0,15	1491,55	119,46	23,22	19,44	0,01

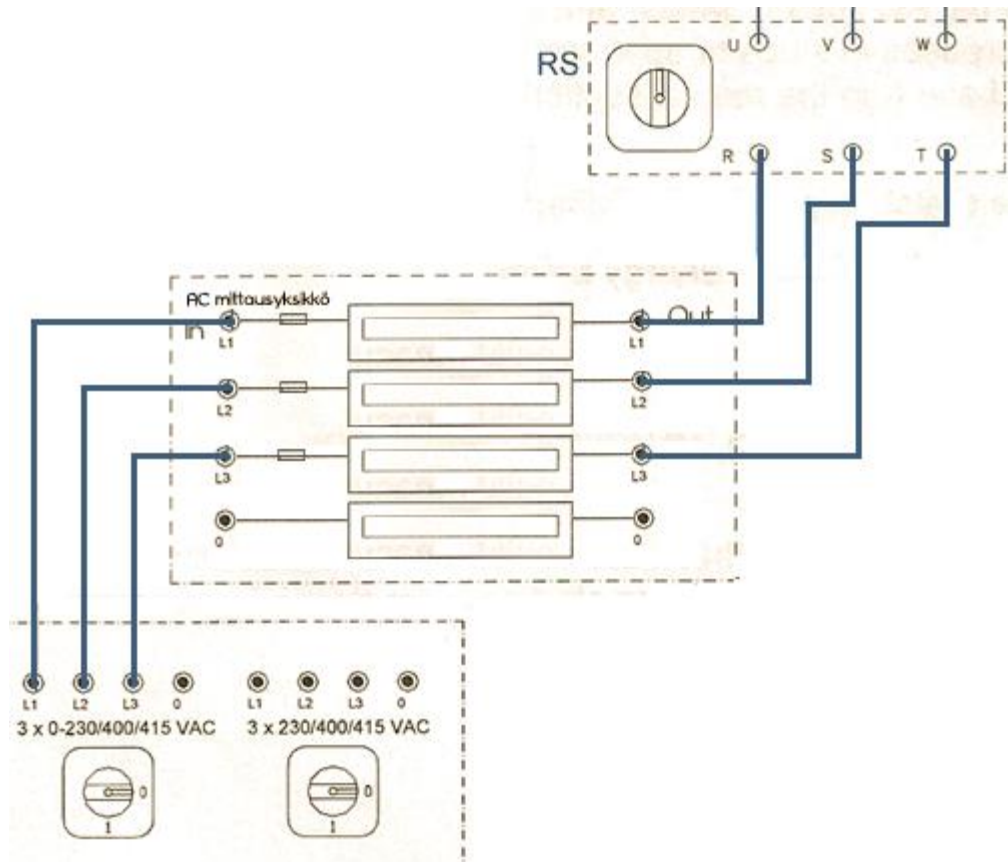
Kuva 14. TERCO Data Acquisition Package – ohjelman mittaustuloksia.

5.4 Vaihtosähkön mittalaite

Vaihtovirran mittauslaite MV 1939 testaus sujui samaan aikaan kuin epätahtimootorin testaus. Testaukseen kuului selvittää liitännät (kuva 15) ja toiminnot sekä säätömahdollisuudet. AC - mittalaite kytkettiin suoraan kaikkiin kolmeen vaiheeseen ja tarvittaessa sai nollajohtimen mukaan. Jokaiselle vaiheelle oli oma sisään- ja ulostulo, joten vaiheiden järjestys ei päässyt sekoittumaan.

Tämä riitti siihen että laitteella pystyi mittaamaan jokaisen vaiheen väliltä jännitteen, virran ja näiden keskiarvon sekä näiden lisäksi tehon. Nämä arvot pystyivät tarkistamaan napin painalluksella silloinkin kun mittaus oli kesken. AC - mittalaite voidaan

liittää sarjaan momentinmittausyksikön kanssa Modbus – portin kautta ja näin saada mittausyksiköiden reaaliaikaiset tiedot PC:lle samaan aikaan kummastakin laitteesta.

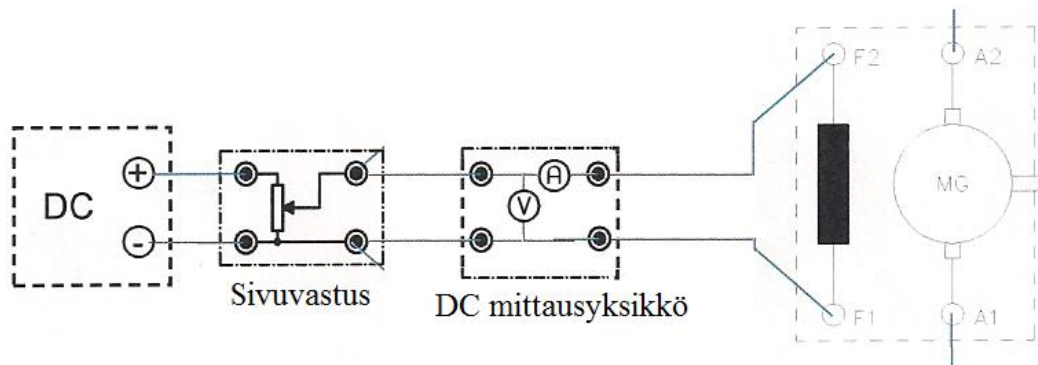


Kuva 15. Vaihtovirran mittauslaitteen MV1939 kytkentä teholähteestä mittausyksikön läpi suunnanvaihtokytkimelle (TERCO momentinmittausyksikön käyttöopas).

5.5 Tasasähkön mittalaite

Tasavirran mittauslaite MV 1941 testaus sujui samaan aikaan kuin tasavirtakoneen testaus generaattorina. Testaukseen kuului selvittää liitännät (kuva 16) ja toiminnot sekä säätömahdollisuudet. DC - mittalaite kytkettiin + ja – napoihin sisään- ja ulostulon perusteella. Laitteessa on mahdollisuus kahdesta kohtaa mitata jännitteen ja virran arvot mikä ei sido sitä vain yhteen kohtaa piiriä.

DC - mittalaite voidaan liittää sarjaan momentinmittausyksikön kanssa Modbus – portin kautta. Tämä mahdollistaa sen, että mittausyksiköiden reaaliaikaiset tiedot voidaan siirtää PC:lle samaan aikaan kummastakin laitteesta.



Kuva 16. Tasavirran mittauslaitteen MV1941 kytkentä teholähteestä sivuvastukselle ja mittausyksikön läpi generaattorille (TERCO momentinmittausyksikön käyttöopas).

5.6 Kuormitusyksiköt

Kuormitusyksiköitä oli kolme erilaista: kuormitusvastus 1100, reaktiivinen kuormitus MV 1101 ja kapasitiivinen kuormitus MV 1102. Kuormitusvastusta tuli testattua suurimmassa osissa harjoitustöitä mutta reaktiivisen ja kapasitiivisen kuormitusyksikön testaus onnistui tehtävässä neljä.

Säädöt ja liitännät olivat selkeästi kuvattu kannessa ja liikuteltavuudessa ei ollut ongelmia. Harjoitustyötehtäviin nähden kuormitusyksiköitä oli sopiva määrä eli kaksi kappaletta jokaista kuormitusyksikköä.

6 HARJOITUSTÖIDEN SUUNNITTELU

Suunnittelu piti sisällään uusien ja vanhojen harjoitustöiden tarkastelun ja näiden yhteensovittamisen, jotta harjoitustyöt vastaisivat mahdollisimman paljon toisiaan. Vanhoja harjoitustöitä löytyi seitsemän kappaletta ja uusia töitä tuli kahdeksan. Uudet harjoitustyöt sisälsivät vanhat harjoitustyöt hieman eritavalla toteutettuna mutta pääpiirteittäin ne vastasivat toisiaan. Käytössä olleet kaksi uutta oppimisympäristöä eli momentinmittauspenkkiä oli tarkoitus suunnitella siten, että niissä käytettävät moottorit, generaattorit ja muut laitteet tarvitsisivat mahdollisimman vähän liikuttamista paikasta toiseen. Kumpaankin testipenkkiin tulisi yksi oikosulkumoottori MV1009, yksi tasavirtakone MV 1028 ja momentinmittausyksikkö MV 1054 datamoduulin kanssa.

Näiden lisäksi mittalaitteet vaihtovirralla MV 1939 ja tasavirralla MV 1941 oli myös hyvä olla testipenkkien lähellä mittaustulosten aikaansaamiseksi. Tämän lisäksi toiselle harjoituspisteelle tulisi ylimääräinen tasavirtakone sekä reluktanssimoottori ja toiselle harjoituspisteelle tahtimoottori. Suunnitteluun kuului myös tehdä laitteiden lyhyet käyttöoppaat, sillä mittalaitteiden käyttö ei ollut ennestään tuttua. Harjoitustyöt tuottivat 48 sivua ja liitteessä 1 on esimerkki harjoitustyöohjeesta ja liitteessä 2 on harjoitustöissä käytetyt kaavat.

6.1 Harjoitustyöt

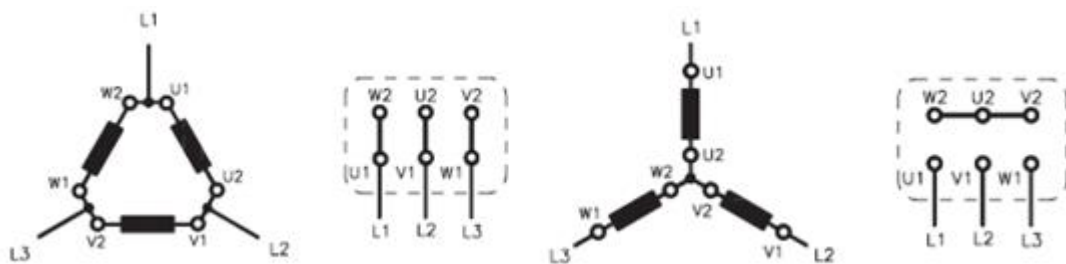
Ensimmäinen harjoitustyöohje piti sisällään tutustumisen SVT-laboratoriossa käytettäviin välineisiin. Tähän työhön kuului AC – ja DC mittaus sekä vääntömomentin mittauksen. Myös työn turvallinen suorittaminen oli esillä, esimerkiksi ettei koneen nimellisiä arvoja saa ylittää ylikuumenemisen takia.

Toinen ja kolmas harjoitustyöohje käsitteli tasavirtakoneita ja kohteena oli moottorin ja generaattorin tutkiminen. Tasavirtageneraattorin harjoitustyössä oli tarkoitus tutkia ominaiskäyriä, mitkä ovat tyypillisiä generaattorille. Nämä sai selville mittaamalla tyhjäkäynti-, kuormitus-, erillismagnetointi- ja sivuvirtamagnetointikäyrä. Tasavirtamoottorin harjoitustyössä oli tarkoitus mitata sivuvirta- ja sarjamoottorin ominaiskäyriä. Mittauksissa piti ottaa huomioon tasavirtamoottorin ominaiskäyriä eli momenttikäyrä ja hyötysuhdekäyrä, jossa vääntömomentti on ilmaistu pyörimisnopeuden funktiona. Näi-

den harjoitustehtävien tulokset kirjattiin taulukoihin, joita tarkastelemalla ja laskemalla tasavirtakoneen ominaisuudet sai selville.

Neljäs ja viides harjoitustyö piti sisällään tahtimootorin ja tahtigeneraattorin tutkimista. Tahtigeneraattorin harjoitustyössä oli tarkoitus mitata 3 - vaiheisia ominaiskäyriä joihin kuului tyhjäkäynti-, oikosulku- ja kuormituskäyrä. Tahtimootorin harjoitustyössä piti suorittaa moottorin tahdistus 3 - vaiheverkkoon ja tutkia miten se siinä käyttäytyy. Tahdistus tapahtui käynnistämällä tahtimootori tasavirtakoneella ja tahdistus tapahtui kirjas - pimeä - kytkennällä, jonka jälkeen konetta käytettiin vaihesiirtäjänä ja moottorina. Näiden harjoitustehtävien tulokset kirjattiin taulukoihin, joita tarkastelemalla ja laskemalla tahtikoneen ominaisuudet sai selville.

Harjoitustehtävissä 9 -11 oli tarkoitus tutkia epätahtimootoria. Ensimmäisessä osassa oli tarkoitus selvittää Y / D (tähti - kolmio) käynnistystä (kuva 17), mitata hyötysuhde eri kuormituksilla ja mitata momenttikäyrä $M = f(s)$, eli saatua momenttia jättämän funktiona. Toisessa osassa oli tarkoitus määrittää käynnistysvirtoja ja tutkia epätahtimootorin liitännöjä. Tämä tarkoitti sitä, että tähti-kolmio käynnistyksellä käynnistysvirtaa voidaan pienentää. Tavallisesti moottori, joka on kytketty kolmioon, kytkettiin nyt tähteen käynnistysajaksi. Tästä johtuen käämityksen jännite on $1/\sqrt{3}$ nimellisestä, mikä tarkoittaa alenemista myös käämivirrassa. Kolmannessa osassa oli tarkoitus tarkastella epätahtimootorin koestusta ja siihen kuuluvien häviöiden summausta. Teorias-
sa tämä tarkoitti standardien mukaan 400 W ja suuremmilla 3 - vaiheisella moottorilla hyötysuhde tulee määrittää häviösummaus - menetelmällä, jossa häviö mitataan erikseen. Näiden harjoitustehtävien tulokset kirjattiin taulukoihin, joita tarkastelemalla ja laskemalla epätahtikoneen ominaisuudet saadaan selville.



Kuva 17. Vasemmalla kolmiokytkentä ja oikealla tähtikytkentä (ABB Oy kotimaan myynti, 10).

Syöttö uusiin pisteisiin tuli viereisistä työpisteistä, joissa samalla pystyi käyttämään PC:tä, mikäli datamoduulin käyttö sitä vaati. Harjoitustyöpiste 1 (kuva 13) ja harjoitustyöpiste 2 (kuva 19) saivat nykyisen paikkansa, joissa on otettu huomioon ryhmien koko, tilankäyttö ja sähköpisteet.



Kuva 18. Momenttivaakojen sijainti on esitetty kuvassa vaaka 1 ja 4.



Kuva 19. Harjoitustyöpisteessä kaksi tapahtuva momentinmittaus.

6.3 Käyttöohjeet

Käyttöohjeet tuottivat yhteensä 14 sivua, johon on koottu digitaalisen momentinmittaus- ja näyttöyksikön MV 1054 tiedot ja käyttöohjeet. Ohjeistus pitää sisällään myös näyttöyksikön liittämisen PC:llä olevalla DAQ ohjelmaan ja mittauksen suorittamisen.

Käyttöohjeet näyttävät miten moottorit ja generaattorit tulee asentaa fyysisesti mittaisalustalle, jotta ne olisivat suorassa toisiinsa nähden. DC- ja AC - mittauslaitteiden kytkentä ja käyttö löytyy samasta liitteestä.

7 TOTEUTUS

Toteutus sisälsi laitteiden testaamisen SVT-laboratoriossa valvojan kanssa ja lähti liikkeelle aikaisemmin tehdystä harjoitustyön suomentamisesta. Toteutus aloitettiin laitteiden numeroinnin tarkistamisella ja kirjaamalla ne ylös. Tämän jälkeen oli vuorossa kytkentöjen tekeminen, jonka valvoja tarkasti ennen jännitteen kytkemistä. Tarkastuksen jälkeen alkoi varsinainen harjoitustyön suoritus, jossa tarkoituksena oli tehdä tehtävät ohjeiden mukaisesti ja tarvittaessa korjata muutokset.

Mittaustehtävissä oli tärkeää pysyä ohjeissa, jotta virheitä ei tulisi ja samalla katsoa että esimerkiksi virta ja jännite pysyivät sallituissa arvoissa. Mittaustulokset kirjattiin niille tehdyille taulukoille ja tulokset pystyi tarkistamaan valvojalle tehdyllä materiaalilla. Lopuksi oli vuorossa jännitteiden katkaiseminen, kytkennän purkaminen ja laitteiden takaisin paikalleen vieminen.

7.1 Moottorit ja generaattorit

Harjoitustöiden yhteydessä käytettiin seuraavia koneita moottorina:

Epätahtikonetta eli oikosulkumoottoria MV 1009 (kuva 20) tuli käytettyä moottorina harjoitustöissä 1 ja 9 – 11. Moottori on tyypillinen 3 – vaiheinen oikosulkumoottori, joka on kiinnitetty 10 mm paksuun anodisoituun alumiini levyyn konealustalle MV 1004 sijoittamista varten.



Kuva 20. Epätahtikone MV 1009 (IS-VET:n Terco, 9).

Tekniset tiedot:

- Nelinapainen kone	1,1 kW 1400 rpm
- Tähtikytcentä	350 – 415 V, 3,0 A ja 50 Hz
- Kolmiokytcentä	220 – 240 V 5,2 A ja 50 Hz
- Hitausmomentti	$J = 0,0023 \text{ kgm}^2$
- Koko	355 * 300 * 310 mm
- Akselin korkeus	162 mm
- Paino	119 kg

Tahtikone MV 1008 (kuva 21) oli käytössä tehtävissä neljä ja viisi. Siinä on tasavirralla magnetoitu sylinteri roottori, joka toimii 220 V jännitteeseen asti ja ylimääräinen vaimennuskäämi estää sitä putoamasta tahdista sekä helpottaa synkronoinnin palautumista. Tämä myös mahdollistaa moottorin käynnistämisen epätahdissa.



Kuva 21. Tahtikone MV 1008 (IS-VET:n Terco, 9).

Tekniset tiedot:

- Synkronigeneraattori	1,2 kVA * 0,8
- Synkronimoottori	1,0 kW, 1500 rpm
- Tähtikytcentä	380 – 415 V, 3,5 A ja 50 Hz
- Kolmiokytcentä	220 – 240 V, 3,5 A ja 50 Hz
- Magnetointi	220 V, 1,4 A
- Hitausmomentti	$J = 0,012 \text{ kgm}^2$

- Koko	465 * 300 * 310 mm
- Akselin korkeus	162 mm
- Paino	39 kg

Tasavirtakone MV 1006 (kuva 22) oli mukana harjoitustöissä 1, 4 – 5 ja 9 – 11. Tämä tasavirtakone oli aikaisempien tehtävien aikana hankittu kone, eikä siten vastaa täysi kuvassa olevaa konetta. Muuten kone vastaa mallia MV 1006 eli siinä on rinnakkais- ja sarjakäämitys ja se voidaan kytkeä sivuvirtamoottoriksi, sarjamoottoriksi tai kompoundimoottoriksi. Se on myös mahdollista myös kytkeä generaattoriksi vastaavilla kytkennöillä.



Kuva 22. Tasavirtakone MV 1006 (IS-VET:n Terco, 8).

Tekniset tiedot:

- Generaattori	1,2 kW 1400 rpm
- Moottori	1,0 kW 1400 rpm
- Sarjamoottori	1,0 kW 1150 rpm
- Roottori	220 V, 6,0 A
- Magnetointi	220 V 0,55A
- Hitausmomentti	$J = 0,012 \text{ kgm}^2$
- Koko	465 * 300 * 310 mm
- Akselinkorkeus	162 mm

7.2 Mittauslaitteet

Digitaalisessa momentinmittausyksikössä MV 1054 (kuva 23) on anturiyksikkö ja näyttöyksikkö, jotka yhdistetään Modbus kaapelilla. Tämä vääntömomentin mittauslaite pohjautuu viimeisimpään anturiteknologiaan. Mittauslaitteen pääideana ovat magneettisuuteen pohjautuvat anturit ilman koskettimia, tiedon keräys anturiyksiköstä ja näyttöyksiköstä voi lukea sen hetkisen kierrosnopeuden, vääntömomentin ja akselitehon. Anturiyksikkö koostuu magneettisesti koodatusta vääntöakselista ja kosketinvapaasta magneettisesta anturista, joka on varustettu tietojenkeräysyksiköllä. Tietojenkeräysyksikkö on yhdistetty mikrokontrollipohjaiseen akselitehon laskentaan, minkä resoluutio on 16 bittiä sisäänmenossa ja 15 bittiä ulostulossa. Vääntömomentti on mahdollista mitata ja esittää arvojen -17,50 Nm ja 17,50 Nm:n välillä tarvittaessa erittäin tarkasti. Akseli, joka pysyy liikkumattomana mukana tulevan tangon avulla, voidaan lukita ja mitata lukituksen aiheuttama vääntömomentti. Kierrosnopeuden mittaus tapahtuu - 3000 ja 3000 rpm välillä ja akselitehon mittaus voidaan laskea ja esittää -5,50 kW ja 5,50 kW:n välillä.



Kuva 23. Keltainen anturiyksikkö ja harmaa näyttöyksikkö mallia MV 1054 (IS-VET:n Terco, 3).

Laitteiden tekniset tiedot

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| - Nimellinen vääntömomentti | -17,50 Nm - +17,50 Nm |
| - Max. mekaaninen vääntömomentti | 25 Nm |
| - Nimellinen akseliteho | -5,50 kW - +5,50 kW |
| - Nimellinen kierrosnopeus | -3000rpm - +3000 rpm |
| - Takogeneraattorin ulostulo | 14 V DC / 1000 rpm |

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| - Tietojenkäsittelyprotokolla | Modbus RTU 8N1 |
| - Sarjaliitäntä | RS485 |
| - Siirtonopeus | 19200 kB |
| - Virtalähde | 220 – 240 V DC |
| - Yksivaiheinen | 50 – 60 Hz |

TERCO:n DC - mittausyksikkö MV 1941 (kuva 24) on käytännöllinen kun haluaa saada selville jännitteen ja virran arvon 350 VDC ja 12 ADC asti. DC - mittausyksiköllä on mahdollista mitata kahdesta pisteestä sen hetkisen jännitteen ja virran arvon. Mitatut arvot on mahdollista siirtää PC:lle USB – portin kautta.



Kuva 24. DC - mittausyksikkö MV 1941 (IS-VET:n Terco, 41).

Tekniset tiedot:

- 220VAC, 50 / 60 Hz.
- Mittaus: 350 VDC max, 12 A ADC max.
- Yhteydet: sarjassa RS485, lähettäminen Modbus RTU8N2.
- Ympäristö: 0 – 23 - 55 – 55 °C ja ilmankosteus 25 – 95 %.
- Koko: 255 * 195 * 335 mm.
- Paino 7 kg.

TERCO:n tehoanalysaattorilla MV 1939 (kuva 25) on mahdollista mitata kolmen vaiheen välistä jännitettä, virtaa, tehoa ja näiden keskiarvoja. Yksinkertaistetut liitännät helpottavat mittaustuloksien saantia, sillä tässä on jokaiselle vaiheelle omat sisääntulot

vasemmalla ja ulostulot oikealla. Mitatut arvot on mahdollista siirtää PC:lle USB – portin kautta.



Kuva 25. Tehoanalysaattori MV 1939 (IS-VET:n Terco, 41).

Tekniset tiedot

- 220 VAC, 50 / 60 Hz.
- Mittaus: 500 VAC max, 10 AAC max.
- Yhteydet: sarjassa RS485, lähettäminen Modbus RTU8N2.
- Ympäristö: 0 – 55 °C ja ilmankosteus 25 – 95 %.
- Koko: 255 * 205 * 335 mm.
- Paino: 10 kg.

7.3 Lisävarusteet

Siirrettävässä testialustassa MV 1003 (kuva 26) on sopivasti tilaa moottoreille, generaattoreille ja momentinmittaus yksikölle konealustassa. Testialustan alapuolelle mahtuu tehonlähde ja keskitasolle voi väliaikaisesti sijoittaa ylimääräiset koneet. Työtaso on mahdollista taittaa ja työtason neljästä pyörästä kaksi voi lukita.



Kuva 26. Testialusta käytössä (IS-VET:n Terco, 7).

Tekniset tiedot:

- Työtason mitat 1490 * 400 * 30 mm
- Mitat 1500 * 600 * 840 mm
- Paino 55 kg

Konealusta MV 1004 (kuva 27) on kiinnitettyä testialustassa koneita ja momentinmittausyksiköitä varten. Konealusta on lakattua alumiinia ja sen kumivaimentimet estävät tärinän siirtymistä testialustaan. Erikoispuristimet varmistavat koneen nopean ja turvallisen kiinnityksen alustaan ja puristimet toimitetaan alustan mukana.



Kuva 27. Konealusta (IS-VET:n Terco, 7).

Tekniset tiedot:

- Mitat 1500 * 300 * 65 mm
- Paino 15 kg

Kuormitusvastukset MV 1100, 1101 ja 1102 (kuva 28) voidaan kytkeä 3 - tai 1 - vaiheiseen vaihto- tai tasajännitteen liittimiin. Putkisulakkeet rajoittavat jokaisen vaiheen vastusten virrat. Yksikkö MV 1100 on koteloitu rei'itettyyn metallikoteloon, jossa on pyörät ja yksiköt MV 1101 ja 1102 ovat umpinaisessa metallikotelossa.



Kuva 28. Vasemmalta oikealle kuormitusvastus MV 1100, reaktiivinen kuormitus MV 1101 ja kapasitiivinen kuormitus MV 1102 (IS-VET:n Terco, 20).

Tekniset tiedot:

Kuormitusvastus

3-vaiheinen 3.3 kW, jatkuvasti säädettävä.

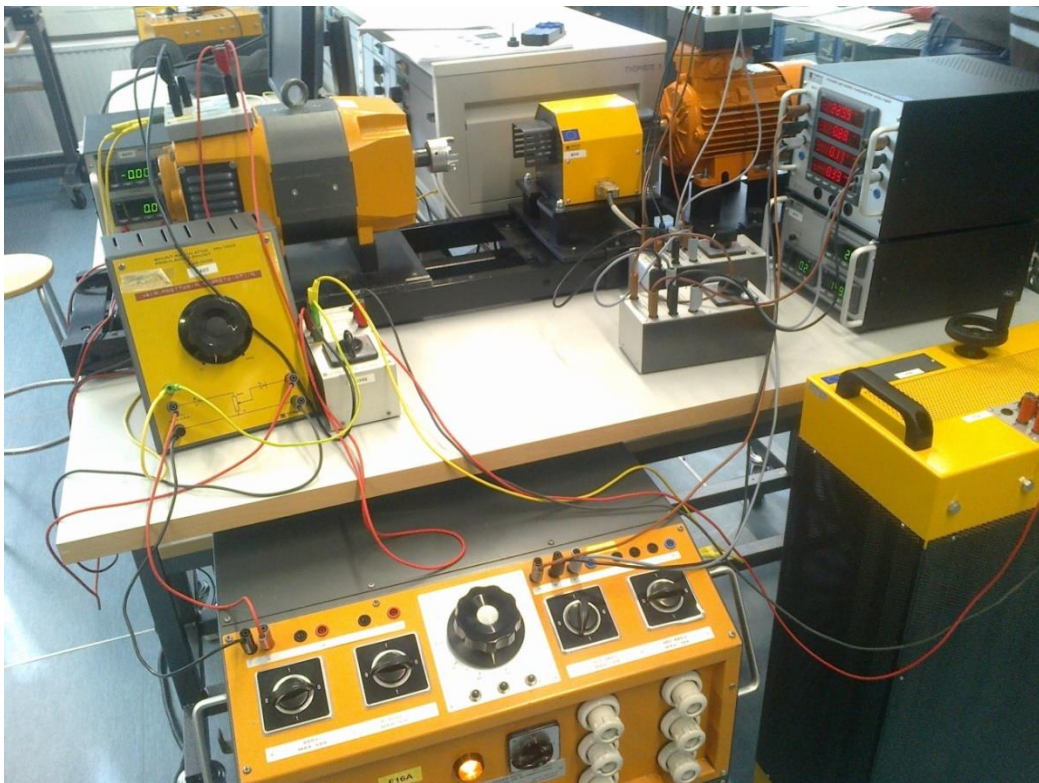
Kestää lyhytaikaisesti noin 20 % ylikuormituksen

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| - Tähtikytkentä | 400 / 230 V, 0,8-5 A |
| - Tähtikytkentä | 230 / 133 V, 0,5-5 A |
| - Kolmiokytkentä | 400 / 230 V, 2,4–8,7 A |
| - Kolmiokytkentä | 230 / 133 V, 1,3–8,7 A |
| - Tasavirtarinnakkaisliitäntä | 220 V, 2,3–15 A |
| - Mitat | 630 * 250 * 890 mm |
| - Paino | 46 kg |

8 HARJOITUSTYÖT

Harjoitustöiden perustana olivat englannin kieliset ohjeet ja vanhemmat tehtävät. Harjoitustöiden laatiminen lähti englannin kielisten tehtävien vertailulla vanhempiin tehtäviin ja tämän pohjalta ne tulivat suomennettua ja sovitettua nykyisiin laitteisiin. Sovituksessa piti huomioida aikaisemmat laitteet esimerkiksi, erilaiset kytkimet, sivuvastukset ja mittarit jännitteelle, virralle ja teholle. Harjoitustehtäviä tuli kaikkiaan kahdeksan kappaletta. Harjoitukset pitivät sisällään tutustumisen, tasavirtamoottorin ja -generaattorin tutkimisen, tahtigeneraattorin ja -moottorin tutkimisen ja kolme erilaista tehtävää epätahtimoottorille. Harjoitustyöt (kuva 29) toteutettiin sähkövoimatekniikan laboratoriossa ja niitä muodostui yhteensä kahdeksan, joista yksi on liitteessä 2.

Lisäkoneiden tarve piti sisällään kolme tasavirtakonetta, jotta esimerkiksi tasavirtageneraattori ja -moottori harjoitustyöt olisivat onnistuneet yhtä aikaa ja tahtikone siihen suunnitelluille tehtäville. Tällä hetkellä käytössä oli vain yksi tasavirtamoottori. Reluktanssikoneen tutkiminen ja käyttö oli myös suunnitelmassa. Kun koneet on hankittu niin harjoitustyöt 2: tasavirtageneraattori ja 3: tasavirtamoottori saataisiin käyttöön, koska näihin tehtäviin tarvitsi kaksi tasavirtakonetta.



Kuva 29. Käynnistysvirtojen mittausta epätahtimoottorilla.

9 KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Kehitysmahdollisuudet SVT-laboratorioon on erityyppisten moottorien lisääminen valikoimaan, mikä puolestaan tekee harjoitustehtävistä monipuolisempia. Tästä esimerkkinä reluktanssimoottori, jonka käynti tapahtuu synkronisesti (tahdissa), jolla on suuri vääntömomentti pienilläkin nopeuksilla ja tahtimoottori, jonka etuna on suurempikokoisia koneita vastaavat ominaisuudet.

Muita laitteita ovat liitäntäpaneelin MV 1504, jolla mittausten tekeminen harjoitustöissä onnistuu ohjeidenmukaisella tavalla. Vaikka liitäntäpaneeli ja koneita puuttui, niin silti harjoitustyöt pystyi suorittamaan.

10 MUUT KONEET JA LAITTEET

Muut tarpeelliset koneet, joita tuli esille opinnäytetyön alussa olivat reluktanssikone, joka oli tarkoitus tilata myöhemmin harjoitustöitä varten ja myöhemmin liitäntäpaneeli. Liitäntäpaneeli on sopiva korvaamaan edellisen jo käytöstäpoistetun liitäntäpaneelin, joka ei soveltunut SVT-laboratoriossa käytettävien johtojen kanssa. harjoitustöiden aikana tuli esille tasavirtakoneiden puute, joita suunniteltiin tilata kolme kappaletta lisää.

Reluktanssimoottori MV 1015 (kuva 30) on tarkoitettu käynnistymään oikosulkumoottorin tavoin mutta toimimaan normaalina tahtimoottorina. Reluktanssimoottori on kolmivaiheinen ja itsestään käynnistyvä sitä käynnistettäessä. Roottoriresistanssin alhainen arvo varmistaa sen, että se saadaan tahdistettua ja käymään tahtimoottorina käynnistämisen jälkeen. Osa hampaista on poistettu roottorista, jotta siitä saadaan muodostettua tyypillinen nelinapainen roottori. Reluktanssimoottorin sähköiset tiedot: taajuus 50 Hz, teho 90 kW, pyörimisnopeus 1500 rpm, kolmiokytkentä 220–240 V, 6,4 A.



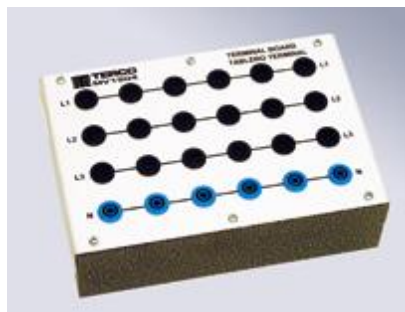
Kuva 30. Reluktanssimoottori MV 1015 (IS-VET:n Terco, 10).

Tasavirtakoneessa MV 1028 (kuva 31) on käytettävissä moottorien ja generaattorien harjoitustehtävissä. Harjoitustyöt huomioiden, se voidaan kytkeä harjoituksesta riippuen joko jarrugeneraattoriksi tai käyttömoottoriksi. Tekniset tiedot: generaattorina 2,2 kW ja 1500 rpm, moottorina 2,0 kW ja 1400 rpm, magnetointi 220 V 0,8 A, ankkuri 220 V 12 A, hitausmomentti $J = 0,012 \text{ kg m}^2$, koko 465 * 310 * 310 mm ja paino 50 g.



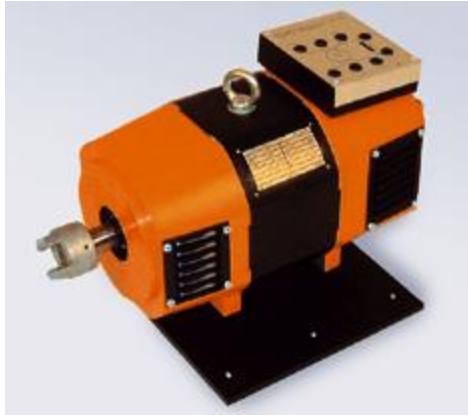
Kuva 31. Tasavirtakone MV 1028 (IS-VET:n Terco, 8).

Liitäntäpaneeli MV 1504 (kuva 32) on nelinapainen, kuuden liitännän ja kahden jakin napaa (vaihetta) kohti oleva metallikotelo. Navat on merkitty R, S, T ja nolla, vaihto- ja tasavirralle 400 V, 16 A.



Kuva 32. Liitäntäpaneeli MV 1504 (IS-VET:n Terco, 15).

Tahtikoneessa MV 1008 (kuva 33) on tasavirran avulla magnetoitu sylinteriroottori ja toimii 220 V tasajännitteeseen asti. Koneen etuna on sen suurempia koneita vastaavat ominaisuudet ja sen magnetoitijännite on saatavissa suoraan laboratorion tehonlähteestä. Tahtikoneessa on ylimääräinen vaimennuskäämi, mikä vastustaa koneen putoamista tahdistä ja näin helpottaa synkronoinnin palautumista, jos kone putoaa tahdistä. Vaimennuskäämin ominaisuuksiin kuuluu tahtimoottorin käynnistämisen epätahtimoottorin tavoin ennen magnetoinnin voimistusta.



Kuva 33. Tahtikone MV 1008 (IS-VET:n Terco, 9).

11 POHDINTA

Kokemuksena momentinmittaus ja siihen tarkoitettujen vaakojen käyttöönotto oli mielenkiintoista ja opettavaista. Samalla oppi, miten ohjeita tehdään, koska niitä lukeva henkilö ole välttämättä ennen käyttänyt erilaisia moottoreita ja momenttivaakoja. Tässä kohtaa oli hyvä ajatella edellä mainitun henkilön näkökulmasta, jotta ohjeet olisi helppo ymmärtää. Myös harjoitustyöohjeiden yhdenmukaistaminen oli asia mihin piti kiinnittää huomiota, koska harjoitustyöt olivat osaltaan hieman erilaisia toisiinsa nähden.

Omat oppimiskokemukset saivat syvempää tietoa siitä miten esimerkiksi mittaustuloksia käsitellään ja miten niitä voi hyödyntää moottorinominaisuuksia määritellessä. Myös moottorien toiminnasta erilaisissa kohteissa ja erilaisista moottoreista sai enemmän käsitystä. Tähän voisi sisällyttää moottorien fyysiset ominaisuudet, niiden osat ja miten ne käyttäytyvät. Kokemusta tuli myös englannin kielen ammattisanastosta ja terminologiasta harjoitustyöohjeisiin ja käyttöohjeisiin.

Hyödynnettävyyttäkin löytyi, kuten kehittymismahdollisuudet lisäkoneilla tehtävät harjoitustyöt ja muut lisälaitteet, joiden tarve tuli esille opinnäytetyön aikana. Lisäksi uudet harjoitustyöt tuovat opetukseen lisää materiaalia. Käyttöohjeet uusille mittalaitteistoille antaa paremmat valmiudet opiskella näillä laitteilla ja saada monipuolisempaa käyttökokemusta verrattuna mittaukseen pelkillä yleismittareilla. Teoriaosuus piti sisällään laitteiden tutkimisen, harjoitustyöohjeiden tekemisen ja käyttöohjeiden laatimisen.

Käytäntö puolestaan piti sisällään moottorien ja mittalaitteiden testaamisen ohjeiden perusteella. Käytännön puolelle kuului myös oppimisympäristön suunnittelu siten, että laitteet saivat oman paikan, ilman että niitä tarvitsisi myöhemmin siirrellä. Teorian ja käytännön onnistuminen sujui hyvin, sillä suurempia ongelmia ei tullut eteen. Testaukset onnistuivat odotetusti ja hyvin vaikka muutama laite puuttuikin. Saadut mittaustulokset vastasivat teoriassa esitettyjä tuloksia. Poikkeukset saattoivat johtua siitä, ettei kaikkea oltu otettu huomioon esimerkiksi pyörimisnopeuden pitämistä tietyssä arvossa. Tulokset olivat odotetuissa rajoissa, mittaukset onnistuivat hyvin ja laitteiden sekä moottorien testauksessa ei tullut ongelmia vastaan.

12 LÄHDELUETTELO

- ABB Oy Kotimaan Myynti, Tahtireluktanssimoottori ja taajuusmuuttaja paketit. Hakupäivä 22.2.2014.
 <http://ssty.fi/download/hki2014/014_Antti_Vuorivirta_ABB.ppt.pdf>
- Petäjäjärvi, Aila, tuntiopettaja, Lapin AMK. Re: opinnäytetyöstä. Liitteessä ABB Oy Kotimaan Myynti, Pienjännitemoottorit. Jani.Lehtonen@edu.lapinamk.fi 22.2.2014.
- Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet 1., painos Porvoo: WSOY.
- Aura, Lauri & Tonteri, J. Antti 1996. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet 2., uudistettu painos Porvoo: WSOY.
- Hietalahti, Lauri 2013. Teollisuuden sähkökäytöt 1. Vantaa Amk – kustannus Oy Tammermekaniikka.
- Leena Korpinen, sähkökoneet osa 2, 2008. Hakupäivä 15.4.2014
 <<http://www.leenakorpinen.fi/node/158>>
- Opetushallitus & Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry & Sähköturvallisuuden edistämiskeskus STEK ry 2009. Toimintaohje työ-, sähkötyö- ja sähköturvallisuusvaatimusten huomioimiseksi sähkötyöiden koulutuksissa. Hakupäivä 3.2.2014
 <http://setifi.asiakkaat.sigmatic.fi/doc/esitteet/Sahkoalan_toisen_asteen_perehdyttaminen.pdf>
- IS-VET Terco 2012. Hakupäivä 18.3.2014
 < http://www.isvet.fi/files/terco_electrical_machines_lab_suomi_netti.pdf>

13 LIITTEET

Liite 1. Harjoitustyöohje

Liite 2. Kaavat

5 Tahtimoottori

Tehtävä

Tehtävänä on tahdistaa tahtikone 3 – vaiheverkkoon ja tutkia sen ominaisuuksia moottorin ollessa kytkettynä verkkoon.

Teoria

Tahtikone käynnistetään tasavirtakoneella ja tahdistus tapahtuu kirkas – pimeä - kytkennällä, jonka jälkeen konetta käytetään vaihesiirtäjänä ja moottorina.

Kaikki tuotu teho on $P = 3 \times P_1$

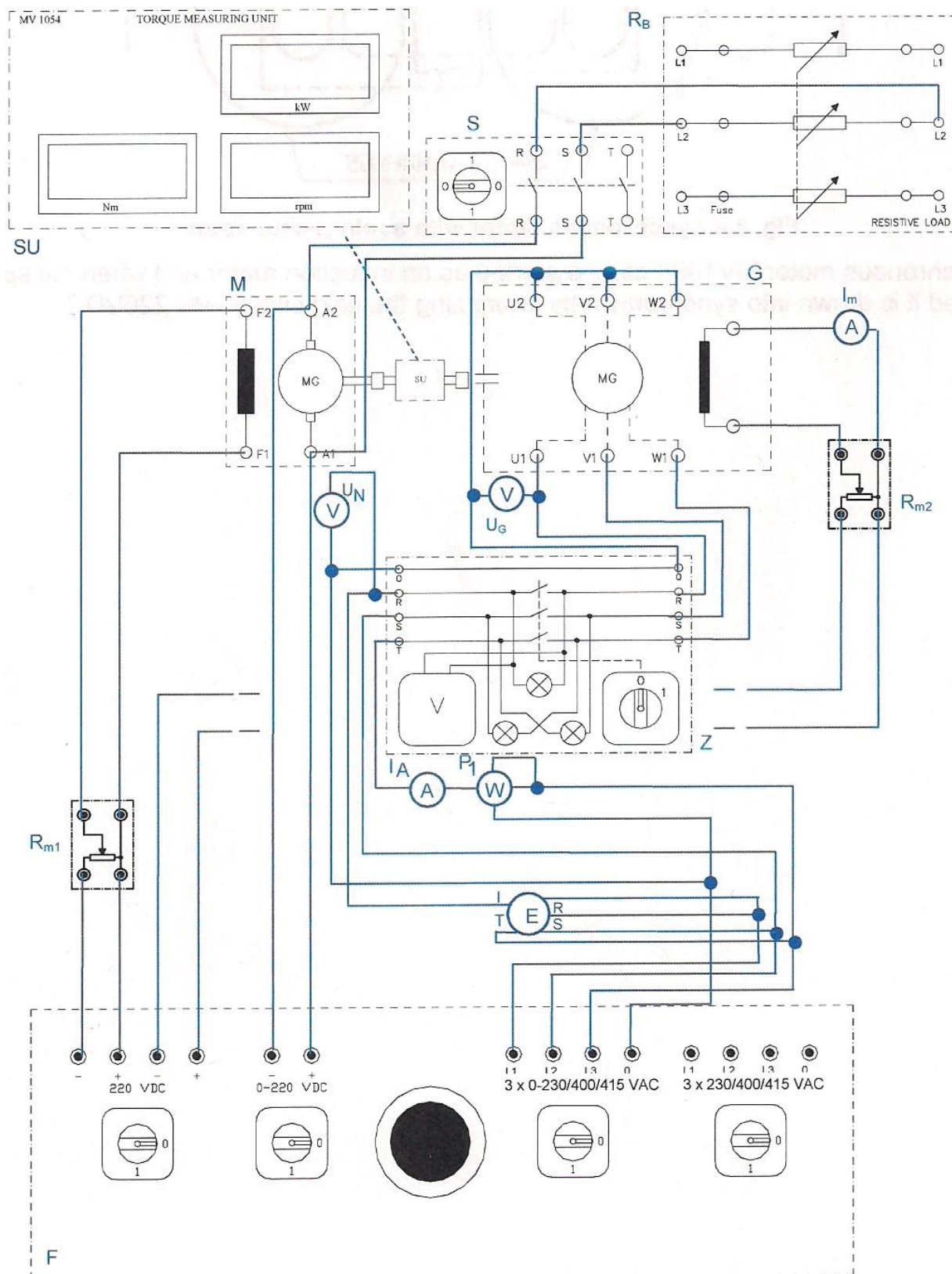
Nimellisteho on $S = \sqrt{3}U_N I_A$

Saatu teho on $P_2 = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} M$

Loisteho on $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

Kuva

- Kuvassa tahtikone on tahdistettu verkkoon kirkas – pimeä kytkennällä.



Laitteisto

M = Tasavirtakone	M45	SU = Momentinmittausyksikkö	MV4
G = Tahtikone	M43	R_{m1}, R_{m2} = Sivuvastus	H402/401
R_B = Kuormitusvastus	R06	U_G = Jännitemittari	B307
S = Kytkin	J201	U_N = Jännitemittari	B307
F = Teholähde	JV1	I_A = Virtamittari	B307
Z = Tahdistuslamput	F402	I_m = Tasavirtamittari	B309
P_1 = Wattimittari	B307	E = Tehokerroinmittari	B304

Kytkenä

- Yhdistä tasavirtakone moottoriksi ja tahtikone generaattoriksi tahdistusta varten piirikaavion mukaisesti. Kuormakytkin S ja tahdistuskytkin täytyy olla auki. Sivuvastuksen R_{m1} jälkeen voi laittaa yleismittarin ja tarkkailla ettei nimellismagnetointivirta ylity moottorille.
- Ota tahtikoneen arvokilvestä nimellisarvot taulukkoon 9.1 ja muista ettei arvoja saa missään vaiheessa ylittää.
- Opettaja tarkastaa kytkennän.
- Käännä kiinteän tasajännitteen kytkin kiinni ja säädä tasavirtakoneelle (R_{m1}) magnetointivirta suurimmilleen.
- Aseta säädettävä tasajännite nolleen ja käännä kytkin kiinni. Tämän jälkeen käännä hitaasti tasajännite 220 V, jolloin moottori käynnistyy ja saavuttaa 1450 rpm nopeuden.
- Säädä tasavirtakoneen magnetointivirta (R_{m1}) niin että nopeus saavuttaa 1500 rpm.

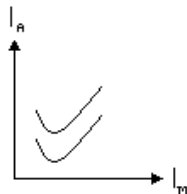
Tahdistuksen suoritus.

- Käännä vaihtojännitteen kytkin kiinni. Säädä tahtikoneen magnetointivastuksella (R_{m2}) generaattorin jännite U_G yhtä suureksi kuin verkon jännite U_N .

- Tarkista lamppujen välähtelystä oikea vaihejärjestys. Mikäli lamput sammuvat samanaikaisesti, on vaihejärjestys väärä. Tässä tapauksessa aukaise jännite kytkimet ja vaihda keskenään liitokset $U_1 - V_1$ generaattorista. Tahdistuslamppujen välähtelystä (pyörivästä tahdistuksesta) voidaan nähdä pyöriikö generaattori liian hitaasti vai nopeasti. Tämän voi todeta säätämällä pyörimisnopeutta tasavirtakoneen magnetointivastuksella (R_{m1}). Säädä tämän jälkeen generaattorin nopeus siten, että se pyörii hieman liian nopeampaa.
- Tahtigeneraattorin oikean tahdistushetken voi määrittää nollavolttimittarilla 0 V. Mittarin näyttäessä nollaa, vaihekulma on oikea ja silloin käännetään tahdistuskytkin kiinni. Tahtikone on nyt tahdistettu verkkoon.
- Tasavirtakone, joka on ollut vetomoottorina, kytketään pois verkosta kääntämällä roottoripiirissä oleva säädettävä tasajännitteen kytkin auki.

Tahtikone vaiheensiirtäjänä

V – käyrien $I_A = f(I_m)$ mittausta eli roottorivirta tahtimoottorin magnetointivirran funktiona.

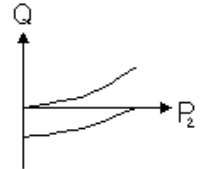


- Säädä tahtimoottorin magnetointivirtaa (I_m) 0,2 A kerrallaan maksimi nimellisarvosta minimi arvoon. Jokaisen säädön kohdalla merkitse taulukkoon 9.2 arvot: I_m , I_A , U_N , P_1 ja $\cos \varphi$. Mikäli mittauksena aikana tehokerroinmittari lyö pohjaan, merkitään taulukkoon induktiivinen tai kapasitiivinen mutta huomion-arvoista on, että ylimagnetoidulla tahtimoottoreilla on tehokerroin kapasitiivinen.
- Säädä tahtimoottorin magnetointivastuksella (R_{m2}) roottorivirta minimiin. Säädä tasavirtakoneen magnetointivirta (R_{m1}) nolllille ja aseta kuormitusvastus (R_B) minimiin. Käännä kytkin S kiinni ja tarkkaile pyörimisnopeutta.
- Säädä tasavirtakoneen magnetointivirtaa (R_{m1}) ja kuormitusvastusta (R_B), jotta saat momentiksi 3 Nm. Säädä tahtikoneen magnetointivastuksella (R_{m2}) magnetointivirtaa maksimi arvosta 0,4:iin aina 0,1 A kerrallaan. Jokaisen säädön jälkeen merkitse taulukkoon 9.2 arvot: I_m , I_A , U_N , P_1 ja $\cos \varphi$. Muista pitää momentti koko mittauksen ajan 3 Nm:ssä.

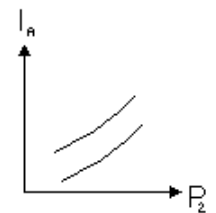
Tahtikone moottorina

Tehokäyrät $I_A = f(P_{\text{out}})$ ja $Q = f(P_{\text{out}})$, eli roottorivirta ja loisteho ovat saadun tehon funktiona.

- Säädä tasavirtakoneen magnetointivastuksella (R_{m1}) momentti minimiin ja tahtikoneen roottorivirta (R_{m2}) minimiin. Merkitse tahtikoneen magnetointivirta ylös ja pidä se vakiona mittauksen ajan.



- Kuormita tahtikonetta säätämällä tasavirtakoneen magnetointivastusta (R_{m1}) ja kuormitusvastusta (R_B) niin, että tahtikoneen virta nousee 0,5 A kerrallaan nimellisvirtaan asti. Merkitse jokaisen säädön jälkeen taulukkoon 9.2 arvot: M , I_m , I_A , U_N , P_1 ja $\cos\phi$.



- Säädä magnetointivastuksella (R_{m1}) momentti minimiin. Vaihda tahtikoneen magnetointivirta (I_m) 1,0 A:iin ja pidä se vakiona koko mittauksen ajan.
- Kuormita tahtimoottoria säätämällä tasavirtakoneen magnetointivastusta (R_{m1}) ja kuormitusvastusta (R_B) askeleittain 0,5 A aina tahtimoottorin nimellisvirtaan asti. Merkitse jokaisen säädön jälkeen taulukkoon 8.2 arvot: M , I_m , I_A , U_N , P_1 ja $\cos\phi$.

Tulosten käsittely

Laske seuraavat suureet ja merkitse ne taulukkoon.

- Kaikki tuotu teho = P_{in} , Nimellisteho = S ja Loisteho = Q (vaihtoehtoisesti voi katsoa tehoanalysaattorista B307)
- Saatu teho = P_{out} (Huomioi Q :n merkki, joka saadaan $\cos\phi$:stä.)
- Piirrä V – käyrät mittauksesta 7, joilla on yhteinen akseli I_m .
- Piirrä tehokäyrät I_A ja Q tehtävästä 8.

Liite 1 6 (6)

- Laske kuinka monta prosenttia tahtikoneen arvokilven ilmoittamasta tehosta voidaan käyttää koneen ollessa ylimagnetoitu vaiheensiirtäjä.
- Mikä rajoittaa saatavilla olevaa tehoa tehtävässä 8?
- Miten voi saatavilla olevaa tehoa nostaa, kun kone on alimagnetoitu vaiheensiirtäjä.
- Miksi mittauksessa 7 teho P muuttuu hieman?

Taulukot

- Tahtikoneen nimellisarvot:_____
- Tehtävän 6 ja 7 taulukko.

[illegible]

Tässä on taulukoituna kaavat, joita on käytetty harjoitustöissä.

- $P_{in} = (I_B + I_m) * U$, jossa P_{in} on moottorin ottama teho ja lasketaan moottorin ottamasta virran ja jännitteen tulosta.
- $P_{out} = T * \omega = T * (2\pi * n)/60$, jossa P_{out} on moottorin antama teho, T vastaa momenttia ja ω lasketaan arvoilla 2π ja kierrosnopeuden tulona jaettuna 60:llä.
- $X_s = \frac{U_n}{I_{ko}} = \frac{127}{I_{ko}} \frac{ohm}{vaihe}$, jossa X_s on generaattorin tahtireaktanssi, U_N on kahden vaiheen välinen jännite jaettuna virran arvolla.
- $P = 3 \times P_1$, jossa P vastaa kaikkea tuotua tehoa ja P_1 on vaiheen ja nollan väliltä mitattu teho.
- $S = \sqrt{3} U_N I_A$, jossa S on nimellisteho, U_N vaiheen ja nollan välinen jännite ja I_A on vaiheen virta.
- $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$, jossa Q on loisteho, S nimellisteho ja P_2/P_{out} on saatu teho.
- $\eta = \frac{P_2}{P_1}$, jossa η on hyötysuhde prosentteina, P_2 on saatu teho ja P_1 on otto teho.
- $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100\%$, jossa s on jättämä, n_1 on tahtipyörimisnopeus 4 – napaiselle moottorille ja n_2 moottorin pyörimisnopeus.
- $s = \frac{f_2}{f_1} \times 100\%$, jossa s on jättämä, f_1 on verkkotaajuus ja f_2 roottorin taajuus.
- $P_{Cu} = \frac{3}{2} R_u I^2$, jossa P_{Cu} on tehot, R_u on vastus kahden vaiheen välillä ja I on päävirta.
- $M = 1.6 * M_n = 1.6 \frac{P_n}{\omega_n}$, jossa M on kokeiltava momentti ja M_n nimellismomentti.

- $P_{tyh} = P_R + P_T$, jossa P_{tyh} on tyhjäkäyntiteho ja P_R sekä P_T ovat vaiheiden kohdalta mitatut tehot.
- $\tan \varphi = \sqrt{3} \frac{P_R - P_T}{P_R + P_T}$, jossa $\tan \varphi$ on tehokerroin.
- $P_{Cu0} = 3 * R_U * (\frac{1}{\sqrt{3}})^2$, jossa P_{Cu} on virtalämpöhäviö ja R_u on mitattu arvo.
- $P_{1Cun} = 3 * R_{U75} * (\frac{I_N}{\sqrt{3}})^2$, jossa P_{1Cun} on staattorin virralla merkitty vastuslämpöhäviö.
- $P_{2Cun} = \frac{S_n}{1 - S_n} * P_n$, jossa P_{2Cun} on vastushäviö roottorissa, S_n on jättämä merkitystä tehosta P_n .
- $\eta = \frac{P_n}{P_n + P_O + P_{1Cun} + P_{2Cun} + P_{lisä}} * 100\%$, jossa η on hyötysuhde laskettuna mitatuista arvoista.